

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FABIANO SARDENBERG KUSS

ECOSSISTEMA EDUCACIONAL APOIADO POR COMPUTADORES: UM MODELO
PARA USO DE NOVAS TECNOLOGIAS NO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM

CURITIBA PR

2020

FABIANO SARDENBERG KUSS

ECOSSISTEMA EDUCACIONAL APOIADO POR COMPUTADORES: UM MODELO
PARA USO DE NOVAS TECNOLOGIAS NO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Ciência da Computação no Programa de Pós-Graduação em Informática, setor de Ciências Exatas, da Universidade Federal do Paraná.

Área de concentração: *Ciência da Computação*.

Orientador: Marcos Alexandre Castilho.

CURITIBA PR

2020

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

- K97e Kuss, Fabiano Sardenberg
Ecossistema educacional apoiado por computadores: um modelo
para uso de novas tecnologias no processo de ensino e aprendizagem
[recurso eletrônico] / Fabiano Sardenberg Kuss – Curitiba, 2020.
- Tese - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Exatas,
Programa de Pós-graduação em Informática.
Orientador: Marcos Alexandre Castilho.
1. Informática na educação. 2. Tecnologia educacional. I.
Universidade Federal do Paraná. II: Castilho, Marcos Alexandre. III.
Título.

CDD: 006.78

Bibliotecária: Roseny Rivelini Morciani CRB-9/1585

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em INFORMÁTICA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **FABIANO SARDENBERG KUSS** intitulada: **Ecosistema Educacional Apoiado por Computadores: Um modelo para uso de novas tecnologias no processo de ensino e aprendizagem**, sob orientação do Prof. Dr. MARCOS ALEXANDRE CASTILHO, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 15 de Junho de 2020.

Assinatura Eletrônica

15/06/2020 21:16:36.0

MARCOS ALEXANDRE CASTILHO
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

16/06/2020 09:48:38.0

SEIJI ISOTANI
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO)

Assinatura Eletrônica

16/06/2020 17:11:20.0

ROBERTO PEREIRA
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

16/06/2020 13:41:00.0

CREDINÉ SILVA DE MENEZES
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL)

Dedico esta tese ao Professor Doutor Alexandre Ibrahim Direne, “In Memoriam”, grande pesquisador que soube demonstrar com brilhantismo que educação e tecnologia são as chaves para a construção de uma sociedade mais justa.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à minha esposa Aida Maris Peres pelo apoio, companheirismo e sugestões que permitiram a realização desta tese. Ao meu filho Fabricio do Amaral Kuss e aos meus enteados Alexandre Peres Arias e Thiago Peres Arias, que sempre me inspiraram a tentar ser uma pessoa melhor.

Aos meus netos Cecília Sprenger do Amaral Kuss e Artur Sprenger do Amaral Kuss, minha mãe Maria Alice Sales Sardenberg, meu irmão Antonio Carlos Kuss, meu sobrinho e afilhado Bruno Kuss e meu padasto Muriel Lopes que entenderam minhas ausências em várias oportunidades, em decorrência do tempo dedicado à construção desta pesquisa.

Também não poderia deixar de lembrar o apoio recebido da minha nora de fato Giuliana Sprenger, e as de coração, Theodora Wrobel Von Zuben e Bruna Holmen Santos, da minha sogra Ayda Lopes dos Anjos Peres, dos meus cunhados Jeferson César Peres, Ewerton Cesário Peres, Letícia Mara Peres, Emerson Luiz Peres e Silvana Carla Garcia Kuss, além dos meus concunhados Fabiano Silva, Edilza Romanichen e Carla Noll Peres que sempre acreditaram e apoiaram a realização desta tese.

Ao Prof. Dr. Marcos Alexandre Castilho, que assumiu com muita competência e dedicação a orientação desta pesquisa, iniciada com o saudoso Prof. Dr. Alexandre Ibrahim Direne. Suas contribuições foram essenciais para a conclusão deste trabalho. Agradeço também aos Prof. Dr. Looi Chen-Kit e Prof. Dr. Wong Lung Hsiang, que me receberam no National Institute of Education, NIE, da Nanyang Technological University, NTU, e sempre estiveram disponíveis para compartilhar seus conhecimentos e abrir oportunidades de contato com diversos pesquisadores em Singapura. Aos membros da banca, Prof. Dr. Crediné Silva de Menezes, Prof. Dr. Seiji Isotani e Prof. Dr. Roberto Pereira pelas reflexões e sugestões que proporcionaram melhorias nesta tese.

Ao Centro de Computação Científica e Software Livre, C3SL, que apoiou a divulgação da pesquisa. Aos colegas do C3SL, em especial ao Maurício Requião, e do NIE, que colaboraram em diversos momentos no desenvolvimento dos experimentos da tese.

Ao Serviço Federal de Processamento de Dados, SERPRO, que permitiu minha liberação parcial para a realização desta tese. Aos meus colegas de trabalho, em particular aos Guilherme Bisotto, Jeferson José de Miranda, Emerson Saito, Renê Campanario, Antonio Tiboni, Marco Jonack e João Luguesi, que muitas vezes tiveram que assumir tarefas extras, para que eu pudesse me dedicar ao doutorado. Ao Programa de Pós-Graduação em Informática, pela estrutura de apoio e compromisso com a formação acadêmica e científica. Finalmente fica meu agradecimento a todos que, em algum momento e de alguma forma, contribuíram com a construção deste estudo.

RESUMO

Nesta tese é proposto um ecossistema educacional apoiado por computadores para a melhoria da infraestrutura computacional das instituições de ensino com o uso de tecnologias da informação e comunicação emergentes. O arcabouço conceitual proposto estende os conceitos de ecossistemas, complementa lacunas na literatura e oferece suporte para a construção de um ambiente ubíquo, independente de contexto e contínuo para o ensino e aprendizagem. As interações entre diferentes tipos de *hardwares* que colaboram entre si, em um contexto ambiental que aproxima o real e o virtual, são definidas, detalhadas e experimentadas utilizando dispositivos emergentes. A pesquisa apresenta oportunidades de uso das tecnologias móveis, recursos da internet das coisas e *single bord computers* a partir do arcabouço conceitual proposto para apoiar o ensino presencial. Os conceitos, definições e experimentos apresentados podem ser aplicados às outras áreas que demandem de soluções para a absorção de tecnologias da informação e comunicação em ambientes de intensa interação entre recursos computacionais, pessoas e ambiente.

Palavras-chave: informática na educação; tecnologia nas escolas; ecossistema educacional; internet das coisas.

ABSTRACT

In this thesis, an educational ecosystem supported by computers is proposed to improve the computational infrastructure of educational institutions with the use of emerging information and communication technologies. The proposed conceptual framework extends the concepts of ecosystems, complements gaps in the literature and provides support for the construction of a ubiquitous environment, independent of context and continuous for teaching and learning. The interactions between different types of hardware that collaborate with each other, in an environmental context that brings together the real and the virtual, are defined, detailed and experienced using emerging devices. The research presents opportunities for the use of mobile technologies, Internet of Things resources and single board computers based on the conceptual framework proposed to support classroom teaching. The concepts, definitions and experiments presented can be applied to other areas that require solutions for the absorption of information and communication technologies in environments of intense interaction between computing resources, people and the environment.

Keywords: informatics in education, technology in schools, educational ecosystem, internet of things

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1	ECOSSISTEMAS	16
2.1.1	Ecosistemas e TIC	17
2.1.2	Conceitos de ecossistemas aplicados à educação	18
2.2	EDUCAÇÃO UBÍQUA SENSÍVEL AO CONTEXTO	19
2.3	PROJETOS DE USO DE COMPUTADORES NAS ESCOLAS	21
2.4	INTERNET DAS COISAS	24
2.5	SOLUÇÕES COM SINGLE BOARD COMPUTER	25
2.6	DISPOSITIVOS MÓVEIS COMO FERRAMENTA EDUCACIONAL	27
2.7	O FRAMEWORK TPACK	28
2.8	CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	29
3	MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1	REQUISITOS PARA UM ECOSISTEMA EDUCACIONAL APOIADO POR COMPUTADORES	31
3.1.1	Reduzir a desigualdade no acesso às TICS	31
3.1.2	Prover infraestrutura para apoio às práticas didáticas	32
3.1.3	Empoderar os atores do processo de ensino e aprendizagem	32
3.1.4	Promover integração e interoperabilidade entre ferramentas	32
3.1.5	Promover a ubiquidade sensível ao contexto	33
3.1.6	Apoiar a autonomia dos componentes	34
3.1.7	Agregar segurança da informação no contexto do ensino e aprendizagem apoiado por computadores	34
3.2	DISPOSITIVOS DE <i>HARDWARE</i> EMERGENTES PARA APOIO AO ENSINO E APRENDIZAGEM	35
3.2.1	Computação em neblina (<i>fog</i>)	35
3.2.2	Single Board Computers SBCs	36
3.2.3	Smartphones	37
3.2.4	Ferramentas de IoT	39
3.3	CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	39
4	PROPOSTA DE UM ECOSISTEMA EDUCACIONAL APOIADO POR COMPUTADORES	40
4.1	REPRESENTAÇÃO DE UM ECOSISTEMA APOIADO POR COMPUTADORES	40
4.2	ECOSSISTEMA EDUCACIONAL APOIADO POR COMPUTADORES	41

4.3	A IMPLEMENTAÇÃO DO ECOSISTEMA EDUCACIONAL APOIADO POR COMPUTADORES.	42
4.4	COMPONENTES DE TIC NO ECOSISTEMA EDUCACIONAL POR COMPUTADORES.	44
4.5	CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	46
5	FERRAMENTAS DE TICS EMERGENTES EM UM ECOSISTEMA EDUCACIONAL APOIADO POR COMPUTADORES	47
5.1	DISPOSITIVOS EMERGENTES EM UM ECOSISTEMA EDUCACIONAL APOIADO POR COMPUTADORES	47
5.1.1	Single Board Computers (SBCs)	48
5.1.2	Dispositivos móveis.	52
5.1.3	Dispositivos de IoT	54
5.2	PADRÕES E PROTOCOLOS PARA UM ECOSISTEMA EDUCACIONAL . .	55
5.2.1	Redes sem Fio.	56
5.2.2	O padrão JSON	56
5.2.3	Serviços de mensageira	56
5.2.4	Descoberta de serviços	58
5.3	SEGURANÇA NO ECOSISTEMA EDUCACIONAL APOIADO POR COMPUTADORES.	58
5.4	COMPUTAÇÃO EM <i>FOG</i> NO CONTEXTO EDUCACIONAL	61
5.4.1	Armazenamento na <i>fog</i> educacional	62
5.4.2	Segurança na <i>fog</i> educacional.	63
5.4.3	Serviços de mensageiria na <i>fog</i> educacional	64
5.4.4	Implementação independente de recursos prévios e descoberta de serviços na <i>fog</i> educacional	64
5.5	CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	65
6	EXEMPLO DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM ECOSISTEMA EDUCACIONAL APOIADO POR COMPUTADORES.	66
6.1	METODOLOGIA DOS EXPERIMENTOS	66
6.1.1	Seleção dos SBCs.	66
6.1.2	Ferramentas de integração com o SBC	67
6.1.3	Especificação das implementações	68
6.2	O SBC PARA APOIAR A PRÁTICA DIDÁTICA.	68
6.2.1	Implementação dos aplicativos	69
6.3	FERRAMENTAS PARA APOIO ÀS PRÁTICAS PEDAGÓGICAS DO PROFESSOR NO SMARTPHONE	72
6.4	UTILIZAÇÃO DAS FERRAMENTAS PELO PROFESSOR	73
6.4.1	Ferramentas desenvolvidas para interação de conteúdo com os estudantes	77

6.5	AVALIAÇÃO DO CONHECIMENTO TECNOLÓGICO PARA USO DO AULA-CAST TEACHER SBC	80
6.6	OUTROS EXPERIMENTOS REALIZADOS	81
6.6.1	Avaliação de desempenho dos módulos ESP8266 e ESP32	81
6.7	IMPLEMENTAÇÃO DE INFRAESTRUTURA DE CHAVES PÚBLICAS. . . .	82
6.8	LIMITAÇÕES	84
6.9	CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	85
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
7.1	TRABALHOS FUTUROS	87
7.2	PUBLICAÇÕES COM RESULTADOS DESTA TESE	88
	REFERÊNCIAS	89

LISTA DE FIGURAS

2.1	Modelos de SBC experimentados na pesquisa: 1 - Raspberry Pi Zero W; 2 - Raspberry Pi V3; 3- Rock 64; 4 - Raspberry Pi V4; 5 - Pine 64; 6 - Orange Pi V3 Curitiba, 2020.	27
2.2	Representação do TPACK, baseado em [1].	29
3.1	Representação de fog, Curitiba, 2020.	35
4.1	Representação de um ecossistema apoiado por computadores, Curitiba, 2020 . .	41
4.2	Comparação entre modelos de representação (adaptado de [2])	42
4.3	Representação da infraestrutura do ecossistema educacional, Curitiba, 2020 . . .	43
5.1	SBCs avaliadas na pesquisa: Raspberry Pi Zero W; Raspberry Pi V3; Raspberry Pi V4, Curitiba, 2018	49
5.2	Representação da execução das filas mqtt, Curitiba, 2020	57
5.3	Representação de uma cadeia de autoridades certificadoras, Curitiba, 2020. . . .	59
5.4	Representação da fogs educacionais, Curitiba, 2020	62
6.1	TV multimídia executando o Aulacast SBC, Curitiba, 2020	70
6.2	Tela inicial do Aulacast Teacher SBC, Curitiba, 2020	71
6.3	Tela principal do Aulacast Teacher App, Curitiba, 2020	74
6.4	Telas Grade horária, nova disciplina e nova aula, Curitiba, 2020.	75
6.7	Telas de interfaces de comunicação com o aplicativo, Curitiba, 2020	75
6.5	Diagrama de sequência para representar o uso integrado do smartphone e SBC, Curitiba, 2020.	76
6.6	Telas para criação de questionário, Curitiba, 2020	77
6.8	Telas do Aulacast Student App, Curitiba, 2020.	78
6.9	Diagrama de sequência para representar o uso integrado do smartphone e SBC pelo estudante, Curitiba, 2020	79
6.10	Avaliação dos professores entrevistados em relação ao aplicativo no smartphone, Curitiba, 2017.	80
6.11	Avaliação dos professores entrevistados em relação ao uso do Aulacast Teacher SBC, Curitiba, 2020.	81
6.12	Modelo de infraestrutura de chaves para um ecossistema educacional apoiado por computadores, Curitiba, 2020	83

LISTA DE TABELAS

2.1	Distribuição do uso de smartphones por estudantes nas diferentes regiões do Brasil. Curitiba, 2010. Fonte [3]	28
3.1	Uso dos principais sistemas operacionais, Curitiba, 2018. Fonte: [4]	38
3.2	Uso dos principais sistemas operacionais em dispositivos móveis, Curitiba, 2018. Fonte: [4]	38
5.1	Principais tarefas providas por SBCs. Curitiba, 2002	48
5.2	Características de SBCs utilizados nos testes. Curitiba, 2002	50
5.3	Características de SBCs utilizados nos testes, consulta realizada em 22/01/2020..	51
5.4	Principais tarefas providas por smartphones. Curitiba, 2020.	53
5.5	Vendas de smartphones em 2018, Curitiba, 2020. Fonte: [5]	53
5.6	Funcionalidades de dispositivos de IoT em um ecossistema educacional. Curitiba, 2002	54
5.7	Características dos módulos ESP-WROOM-02 e ESP32-S2-WROVER, Curitiba, 2020. Fonte: [6, 7]	55
5.8	Longevidade de padrões para conectividade.	55
6.1	Características de modelos de SBC utilizados neste estudo. Curitiba, 2020	66
6.2	Descrição da capacidade das placas utilizadas no estudo, Curitiba, 2018	67
6.3	Comandos implementados no aplicativo Aulacast.	70
6.4	Comando para movimentação do mouse. Curitiba, 2020	71
6.5	Comandos implementados no aplicativo Aulacast.	77
6.6	Resultado do tempo de inicialização em segundos dos módulos ESP32 e ESP8266, Curitiba 2020.	82
6.7	Falhas de postagem e reconexões com dos módulos ESP32 e ESP8266 e o broker MQTT, Curitiba 2020.	82
6.8	Identificadores de objetos utilizados, Curitiba 2020.	83

LISTA DE ACRÔNIMOS

C3SL	Centro de Computação Científica e Software Livre
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
DINF	Departamento de Informática
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
JSON	JavaScript Object Notation
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
OLPC	One Laptop per Child
PPGINF	Programa de Pós-Graduação em Informática
PRD	Projeto Paraná Digital
RTE	Red Tecnológica Educativa
SBC	Single Board Computer
SoC	System on Chip
TCP	Transmission Control Protocol
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
UCA	Um Computador por Aluno
UDP	User Datagram Protocol
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

1 INTRODUÇÃO

As tecnologias da informação e comunicação (TICs) promoveram profundas mudanças em todas as esferas das relações humanas. Nas instituições educacionais estas mudanças foram representadas de maneira menos ostensiva do que em outras atividades [8], como na indústria, no comércio e nas relações interpessoais [9]. No contexto das escolas, faculdades e universidades, as TICs atuam principalmente como ferramentas complementares para as práticas de ensino e aprendizagem, distantes do protagonismo que ocupam em outras relações sociais.

Os principais esforços na intensificação do uso de computadores nas escolas, geralmente por iniciativa de governos e organizações não governamentais, destacam-se na construção de laboratórios de informática, infraestrutura de rede para os laboratórios [10], distribuição de dispositivos para estudantes e professores [11], e disponibilização de recursos educacionais digitais. Em algumas destas iniciativas são identificadas estratégias de integração entre os recursos, mas sem compromisso de interoperabilidade. Nestes esforços de inclusão, as tecnologias e as ferramentas de software e hardware foram concebidas, prioritariamente, como uma solução para um conjunto predefinido de problemas.

Por outro lado, o rápido desenvolvimento de tecnologias provocou depreciação nos recursos de TIC disponibilizados nos projetos de uso de computadores nas escolas. Este efeito é particularmente notado com a popularização dos dispositivos móveis que provocaram mudanças na forma de uso de computadores em um curto espaço de tempo. Deve-se atentar ainda, que a nova onda de recursos tecnológicos advinda da inserção de dispositivos de IoT sinaliza mudanças em um futuro próximo, as quais resultarão em um novo cenário de interação com as TICs.

A adoção de ferramentas para a integração e interoperabilidade dos recursos computacionais centradas nas interações entre os atores envolvidos no processo de ensino e aprendizagem é uma resposta ao futuro incerto do uso das TICs no contexto da educação. Isso preconiza o uso de padrões para permitir que os dispositivos heterogêneos colaborem uns com os outros para a produção de resultados que contribuam no aprimoramento do ensino e da aprendizagem. Neste entendimento, percebe-se o alinhamento entre as teorias de ecossistemas e as necessidades demandadas por um uso mais eficiente da computação no apoio ao ensino.

Um ecossistema compreende o conjunto de seres bióticos e abióticos, interagindo uns com os outros em um espaço delimitado [12, 13]. Ao trazer esta definição para o ambiente de ensino e aprendizagem, identifica-se que os recursos de hardware e pessoas, interagindo no processo de aprender e ensinar, podem ser compreendidos em um ecossistema educacional. No entanto, o processamento de dados e a troca de informações não cabem nas definições clássicas de ecossistemas [13], demandando novas definições para o conceito de um ecossistema educacional apoiado por computadores.

Esta tese apresenta, de forma inédita, a ampliação das definições das espécies inseridas no ambiente educacional apoiado por computadores e suas interações. A ampliação das definições oferece suporte para a identificação das TICs mais adequadas para contribuir com atividades educacionais, neste início de década de 2020. Para exemplificar o uso das tecnologias identificadas, foram realizados experimentos de infraestrutura de comunicação, concebidos a partir dos conceitos e definições de ecossistema educacional apoiado por computadores, proposto nesta tese.

O ecossistema educacional apoiado por computadores proposto apresenta uma disruptura na implementação de projetos de uso de computadores nas escolas. As definições de ubiquidade [14, 15], sensibilidade ao contexto [14] e *seamless* [16] (palavra do idioma inglês que significa

continuidade, sem falhas ou imperfeições) estão relacionadas aos objetivos a serem alcançados no uso das TICs para apoio ao ensino e aprendizagem. Destarte, um ecossistema educacional apoiado por computadores implementa acesso aos recursos educacionais em qualquer lugar, a qualquer momento, além de estar adequada a diferentes contextos e de forma contínua.

Prover recursos de tecnologias da informação e comunicação de maneira igualitária, permitindo que pessoas, em regiões com severas restrições de infraestrutura possam usufruir de recursos educacionais semelhantes aos utilizados por estudantes abastados de países ricos, constitui um dos pontos centrais desta tese. Para isso a pesquisa realizada buscou identificar soluções inovadoras de dispositivos de baixo custo capazes de prover infraestrutura computacional para acesso aos recursos educacionais sempre que necessário. No entendimento desta tese, a equidade no acesso às tecnologias é a única maneira de efetivar a ubiquidade em seu sentido mais amplo.

Um ecossistema educacional apoiado por computadores independe de dispositivos tradicionais como *desktops*, laptops e servidores, optando preferencialmente por ferramentas de *hardware* emergentes. Os *single board computers* (SBC), por exemplo, são capazes de substituir os dispositivos tradicionais [17, 18] no provimento de infraestrutura de rede, conexão com dispositivos de áudio, vídeo e centralização de serviços de processamento e persistência de dados, além de prover recursos dedicados à comunicação com dispositivos de IoT. O uso de SBCs como opção às arquiteturas tradicionais, provendo os recursos de infraestrutura, é uma solução inovadora resultante deste estudo.

Neste início da década de 2020, smartphones passaram a ser presença constante nas escolas, representando um modelo emergente de inserção das TICs no ambiente educacional, mas que ainda encontra diversas restrições de uso nas escolas [19], muitas destas sanadas por propostas desta tese. A não adequação da infraestrutura das escolas para esta nova realidade restringiu a imediata adoção deste tipo de tecnologia, provocando muitas vezes respostas negativas ao uso de smartphones em sala de aula. Em um ecossistema educacional apoiado por computadores, smartphones interagindo com SBCs são importantes ferramentas de apoio para professores e estudantes.

Finalmente, os dispositivos de IoT são os recursos de *hardware* [15] que surgem como ferramentas com grande potencial de uso para apoiar o processo de ensino e aprendizagem [20]. Entre as principais implementações deste tipo de tecnologia, no contexto de um ecossistema educacional apoiado por computadores, estão a captação de informações ambientais [15], realização de experimentos em disciplinas, apoio às atividades de pensamento computacional e automação da gestão das instituições de ensino. Antecipar a infraestrutura, para interagir com dispositivos de IoT a partir das principais tendências de microcontroladores, é parte da proposta apresentada nesta tese.

Além dos recursos de *hardware*, a identificação de *software* que implementam padrões de comunicação, ou que realizem tarefas pontuais para o apoio ao ensino e aprendizagem compreendem o conjunto de conhecimentos explorados pelos conceitos e definições de ecossistema educacional apoiado por computadores, definidos nesta tese. A identificação dos dispositivos de software que viabilizam a realização das tarefas implementadas sob licenças livres, permitem a evolução contínua do ecossistema, prevenindo a depreciação tecnológica dos recursos de *hardware*. Desta forma, a implementação de um ecossistema educacional apoiado por computadores, pode ter suas funcionalidades ampliadas e adequar-se às evoluções decorrentes de novas formas de uso das TICs, por meio de uma infraestrutura preparada para constantes mudanças.

Um ecossistema educacional apoiado por computadores intensifica o uso das TICs na tentativa de promover a melhoria na qualidade da educação, trazendo uma infraestrutura para suprir as lacunas constatadas em projetos de uso de computadores adotados anteriormente

[21, 22, 23]. O modelo proposto antecipa as definições necessárias para compreensão da evolução tecnológica, proporcionando uma estrutura para este novo patamar de uso das TICs [24]. Assim, as definições ampliadas do conceito de ecossistemas, identificação de tecnologias emergentes e um modelo de implementação de referência oferecem os artefatos para uma abordagem inovadora no uso das TICs como apoio ao ensino e aprendizagem.

O objetivo geral desta tese é propor a melhoria da infraestrutura computacional no processo de ensino e aprendizagem, aplicando os conceitos de ecossistemas, sensibilidade ao contexto e ubiquidade, apoiada em tecnologias emergentes.

Têm-se como objetivos específicos os seguintes itens:

- Estender as definições de ecossistema para aplicação no contexto da informática na educação;
- Representar um ecossistema voltado ao apoio do ambiente educacional;
- Propor protocolos e padrões adequados à proposta de um ecossistema educacional;
- Propor um conceito de uso integrado de dispositivos móveis, de IoT e SBC para o apoio ao processo de ensino e aprendizagem;
- Apresentar soluções baseadas em hardware de baixo custo como ferramenta para o processo de ensino e aprendizagem, propondo implementações de ferramentas para exemplificar o uso de SBC e IoT no ambiente educacional.

Esta tese foi dividida em sete capítulos, incluindo esta introdução. No capítulo 2 são apresentados estudos que abordam recursos tecnológicos e educação, computadores de baixo custo e atores que participam do processo ensino e aprendizagem. No capítulo três é feita uma discussão sobre os requisitos de um ecossistema educacional apoiado por computadores, e apresentados os dispositivos de *hardware* emergentes no contexto da tese. O capítulo 4 traz os conceitos e definições de um ecossistema educacional apoiado por computadores. O capítulo 5 apresenta as definições das ferramentas de TIC para suportar a um modelo de implementação do ecossistema proposto na tese. O capítulo 6 apresenta os experimentos realizados para um exemplo de implementação de um ecossistema educacional apoiado por computadores. E, finalmente, no capítulo 7 serão apresentadas as considerações finais.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo procura-se levantar na literatura especializada da área temas de interesse nesta tese, tanto para dar embasamento teórico quanto para levantar evidências sobre o caráter inédito que este trabalho apresenta. Em particular, apresentando o estado da arte nos conceitos de ecossistema, Educação Ubíqua e Sensível ao Contexto; Projetos de uso de computadores nas escolas; IoT na educação e Mobilidade.

2.1 ECOSSISTEMAS

A definição de ecossistemas tem suas origens na tentativa de oferecer um novo entendimento para os estudos de ecologia. Os conceitos fundamentais de ecossistema são apresentados originalmente por Roy Claphan e previam a representação dos componentes físicos e biológicos e das relações entre estes componentes [25]. Em 1935 Arthur Tansley adaptou o termo para descrever um sistema interativo entre seres vivos e o ambiente onde estes vivem [25]. As definições apresentadas por Tansley são frequentemente apontadas como o marco inicial do uso do termo ecossistema.

Entre os pontos fortes na abordagem oferecida pelo modelo de ecossistemas está a atenção focada na interação entre os seres bióticos e não bióticos [26]. Todos os seres têm status equivalente em um ecossistema, permitindo avaliar a contribuição de todos os objetos em um ambiente complexo sem a necessidade de avaliar o papel de cada elemento para a produção de resultados [12]. A interação entre os componentes colabora para a obtenção de resultados mais relevantes do que os obtidos na soma dos esforços de cada componente do ecossistema em tarefas específicas.

Ecossistemas podem ser delimitados e examinados em diversos escopos e granularidades [25, 27] podendo ser dimensionados de acordo com necessidade da representação necessária para explicitar as relações [28]. As três abordagens principais, aplicadas aos conceitos de ecossistemas na ecologia, todas denominadas como ciência de ecossistemas, são: centradas em: aspectos biológicos; processos e em limitações geográficas [29]. Cada uma destas abordagens permite recortes e delimitações de acordo com o que se deseja observar nas interações do ecossistema.

Concebido inicialmente para o gerenciamento de recursos naturais, o termo ecossistema passou a ser utilizado para várias outras áreas do conhecimento [29] especialmente a partir da década de 1990 [26]. Brush [25] apresenta o uso das definições de ecossistema aplicados fora dos domínios da biologia tais como *automobile-centric ecosystem*, *business ecosystem*, *software network ecosystem*, *digital media ecosystem*, *learning ecosystem* e *entrepreneurship ecosystem*. O arcabouço teórico provido pelas definições de ecossistema traz ferramentas que foram adaptadas para representações complexas de domínios delimitados fora do escopo da ecologia.

O trabalho de Pickett apresenta três dimensões para as representações de ecossistemas: significado, modelo e metáfora. O significado representa os conceitos básicos oferecidos pelos conceitos da biologia, o modelo é a representação dos componentes que interagem no ecossistema a partir de uma delimitação do domínio e a metáfora é a forma de aproximar os conceitos de outras áreas do conhecimento para as definições da ciência de ecossistemas [27]. O conceito multidimensional de ecossistema permite a aplicação das dimensões para a construção de modelos de representação em diversos domínios do conhecimento [27].

2.1.1 Ecossistemas e TIC

A definição de grupos de sistemas de informação como um ecossistema de tecnologia de informação é um novo paradigma. Neste modelo cada sistema tem diferentes graus de autonomia mas tem sua atuação focada em atividades de interação com um determinado ambiente [30]. Um ecossistema de TIC somente pode ser denominado como tal, se contar com mecanismos de orquestração [31] que atuam permitindo o repasse de dados entre os componentes, somente quando o emissor da informação conclua sua operação e o receptor esteja pronto para receber os dados.

O rápido crescimento do uso de tecnologias integradoras, como computação em nuvem e IoT, deslocaram o foco da observação de sistemas independentes para uma percepção de ecossistema [31]. Para o entendimento de um ecossistema de TICs são necessários padrões diferentes daqueles utilizados para o gerenciamento dos sistemas independentes. A demanda em um ecossistema está adequada com um modelo de controle complexo, de larga escala, heterogêneo e auto adaptável [32].

Ao longo do tempo, as estratégias de representação do uso das tecnologias da informação evoluíram de acordo com os dispositivos e infraestrutura disponíveis [13]. Com o surgimento de uma nova ruptura tecnológica decorrente das tecnologia móveis, nenhuma destas representações demonstra-se adequada para as novas tendências de processamento de dados, em decorrência da inserção de tecnologias embarcadas [33], especialmente naquelas implementadas em SoC.

O uso do arcabouço oferecido pelos conceitos de ecossistema surge como uma resposta para a representação das arquiteturas de uso de ferramentas de TIC em ambientes complexos [13].

Ecossistemas de tecnologias de informação (TI) resgatam os conceitos de ecossistemas biológicos aplicados a dispositivos de TIC [30]. Na proposta de Park, Park e Park adaptatividade, auto-organização e autonomia são os principais valores de um ecossistema de TI [30]. A aplicação das definições dos seres bióticos e abióticos passa a ter uma representação mais complexa em ecossistemas de TI, uma vez que o papel desempenhado por elementos biológicos nos conceitos originais de ecossistema passam a ser representados por máquinas.

Algumas definições de ecossistemas digitais apresentam um desacoplamento entre o espaço físico real, supondo uma abstração de ecossistemas para ambientes digitais [32] ou para ambientes bem determinados [34]. Ecossistemas Digitais são como comunidades abertas, sem a necessidade de controles centralizados e capazes de se reconstruir em decorrência de necessidades do próprio ambiente[32].

Ecossistemas digitais trazem uma proposta inovadora para as visões arquiteturais dos modelos de infraestrutura computacional, podendo ser representados como uma evolução das mesmas [13]. A visão arquitetural de ecossistemas difere dos modelos propostos pelas definições dos modelos *client-server*, *per-to-per*, *grid* ou *web services*, pois apresenta um formato aberto e dinâmico que se adequa às modificações ambientais[32]. Assim, as mudanças promovidas pela crescente inserção da IoT nas arquiteturas, representam uma necessidade de revisão da proposta de ecossistema apresentado pela autora.

A abordagem tradicional de ecossistemas digitais apresenta espécies e ambientes providos por computadores [32] sem grande valorização na descrição da interferência de seres vivos. Esta representação permite compreender as relações e proporcionar uma visão dinâmica que pode apresentar uma especificação dos papéis desempenhados pelas espécies, do meio ambiente e um modelo estrutural de sustentação à existência das espécies. Ecossistemas digitais desconsideram a complexidade adicionada nas interações entre os ambientes virtuais e reais, essenciais para a descrição de um ecossistema educacional utilizando TIC.

Chang e West [13] consideram como componentes de ecossistemas digitais as espécies biológicas, espécies econômicas e espécies digitais. Os autores apresentam que ecossistemas digitais absorvem os conceitos de ecossistemas aplicados aos complexos ambientes ecológicos. Esta representação vai além das definições rígidas de sistemas colaborativos e apresentam ecossistemas digitais como uma evolução nas arquiteturas de sistemas de computadores. As delimitações apresentadas no trabalho sofreram obsolescência com as mudanças advindas da popularização das tecnologia móveis e do uso de IoT.

Shadbolt, Van Kleek e Binns argumentam a favor da percepção dos sistemas de computadores de maneira mais ampla do que apenas instrumentos para conectar pessoas, onde sistemas são ferramentas para alavancar um futuro próximo, mas ainda imprevisível [35]. A interação entre humanos e máquinas em um contexto social focado em relacionamentos depende de descrições mais complexas, adequadas à imprevisibilidade dos avanços da TIC, que pode ser feita com a ampliação da definição de ecossistemas.

A abordagem de Shadbolt, Van Kleek e Binns oferece um status de máquinas sociais às redes de computadores [35]. Dispositivos conectados agregam novas funcionalidades e desafios neste ecossistema, demandando uma visão mais ampla sobre as espécies e interações deste ambiente, buscando harmonia, segurança e evolução. Apesar de não apresentar referências relativas a arquitetura ou representações de um ecossistema Shadbolt, Van Kleek e Binns [35] sugerem a urgência de uma nova visão da TIC.

A proposta de um metamodelo para definição de um ecossistema para TIC é apresentado por Park, Park e Park [30]. O uso de um orquestrador, proposto no trabalho, contradiz as definições clássicas de ecossistema que preveem a auto-organização como uma premissa. O modelo apresenta vários atores e define fluxos que não colaboram com a definição de relações mais adequadas aos conceitos de ecossistema.

2.1.2 Conceitos de ecossistemas aplicados à educação

A inserção das ferramentas de TICs, nas diversas atividades humanas, resultou em um ambiente de aprendizagem propício à adoção de diferentes dispositivos e mídias [28]. Para Guetel e Chang [28] este novo panorama passou a demandar por modelos e arquiteturas para representá-lo, motivando o uso das definições de ecossistemas aplicados ao processo de ensino e aprendizagem. O uso das definições de ecossistemas traz um caráter holístico para o entendimento das complexidades advindas do uso das TICs, para apoio ao ensino [36].

Novos processos de ensino e melhoria do ambiente dedicado à educação, têm que oferecer o suporte necessário para a migração da sociedade do conhecimento para a sociedade de competências [28]. Um novo ambiente dedicado ao ensino demandava por formas adequadas ao entendimento dos impactos, necessidades e resultados da inserção e remoção de componentes que interagem uns com os outros [28]. Segundo Gutl e Chang [28] o uso dos conceitos de ecossistema apresenta uma abordagem holística para a representação da nova realidade do processo de ensino e aprendizagem.

Reyna [37] apresenta a proposta de um arcabouço teórico baseado nos conceitos de ecossistema, propondo um modelo denominado ecossistema de ensino e aprendizagem, *teaching and learning ecosystem*. Os papéis dos componentes bióticos de um ecossistema de ensino e aprendizagem são representados por entidades que ensinam e as que aprendem enquanto os papéis representados pelos componentes abióticos são de organização do ecossistema [37]. Entretanto, em um ecossistema de ensino e aprendizagem, os dispositivos de TIC podem ser aplicados para o aprofundamento do conhecimento e frequentemente o professor desempenha papel de mediador.

Para Markoska [38] ecossistema educacional digital é um novo tipo de educação digital, devendo ser analisado como um ambiente em constante evolução. Os principais componentes

deste ecossistema são conhecimento e informação, e os principais valores são o aprofundamento do conhecimento e a seleção e interpretação das informações relevantes [38]. Definições de ferramentas e infraestrutura são aplicadas para a efetivação dos valores em um modelo de ecossistema de apoio ao processo de ensino e aprendizagem.

Um ecossistema educacional digital tem como entradas o conhecimento e informações que por meio das interações dos componentes inseridos no ecossistema geram o aprofundamento e crescimento do conhecimento [38]. As TICs em um ecossistema educacional digital promovem a adaptação das informações para serem armazenadas, usadas e integradas em diferentes entidades de software. O modelo de integração da proposta de ecossistema educacional digital de Markoska [38] apresenta ferramentas integradoras e aponta um modelo baseado nas tecnologias dependentes da internet sem indicar o papel de dispositivos móveis e IoT em um ecossistema.

León, Laceta e Tejero [39] utilizaram a denominação ecossistema educacional aberto para apresentar uma estratégia de aprimoramento das capacidades da educação em engenharia. A escolha pela abordagem na perspectiva de ecossistemas permite uma observação mais cuidadosa nas relações entre os atores do processo de ensino e aprendizagem. A palavra aberto na denominação utilizada no trabalho [39] ocorre em decorrência do foco da integração entre diferentes instituições.

Para García-Holgado e García-Peñalvo [40] ecossistema de aprendizagem é composto por dois tipos de componentes: ferramentas de software e humanos. As definições de ecossistema apresentam seres biológicos e não biológicos estabelecendo relações uns com os outros [25, 12, 27] desconsiderando a existência de elementos virtuais, como as ferramentas de software, como uma nova categoria de componente de um ecossistema. A avaliação de um ecossistema de aprendizagem desconsiderando os dispositivos de hardware [40] gera uma lacuna no entendimento das espécies inseridas em um ecossistema.

Não foi identificado, na literatura, um consenso sobre a denominação mais adequada para a aplicação de metáforas de ecossistema aplicadas ao processo de ensino e aprendizagem apoiado por computadores. As nomenclaturas mais utilizadas são: ecossistema de aprendizagem; ecossistema de e-Learning e ecossistema educacional. Da mesma maneira as abordagens dadas para o entendimento sobre a delimitação dos papéis de computadores é bastante amplo e, mesmo na literatura mais recente, os papéis dos dispositivos móveis e IoT são pouco explorados.

A busca por referências a trabalhos correlatos não indicou nenhuma definição definitiva sobre a aplicação de conceitos de ecossistemas em um ambiente com constante interação entre pessoas, meios, dispositivos e abstrações de ambientes virtuais. A aproximação dos conceitos de ecossistema com o processo de ensino e aprendizagem, aliado ao uso de SBCs, ainda não tem seu estado da arte apresentado. Identifica-se [35, 30] a urgência da avaliação do impacto das novas tecnologias e a emergente necessidade de uma definição dos processos em relação às demandas das novas tecnologias aplicadas ao processo de ensino e aprendizagem.

O contexto em que está inserida esta pesquisa propõe uma definição particular para ecossistemas no contexto do processo de ensino e aprendizagem. Os modelos identificados na literatura apresentam o suporte teórico para a proposição de uma definição de ecossistema, apresentada no capítulo 5, capaz de contemplar as peculiaridades advindas das novas ferramentas de TICs para apoio à educação. O ecossistema apresentado nesta tese permite a compreensão das interações, das espécies e do ambiente envolvido nas questões investigadas.

2.2 EDUCAÇÃO UBÍQUA SENSÍVEL AO CONTEXTO

A abordagem com maior aproximação de um ecossistema educacional é trazida pelos conceitos apresentados nos estudos de sensibilidade ao contexto e educação ubíqua (*u-Learning*).

A noção de uma educação onipresente e individualizada remete às relações entre dispositivos e pessoas como ferramentas de ensino e aprendizagem. Esta sessão apresenta uma leitura crítica sobre o estado da arte aplicada a estes conceitos.

Com a ampliação da quantidade e diversidade de dispositivos decorrentes da popularização de SBCs e SoCs, surgem oportunidades concretas para experimentação dos conceitos de aprendizagem ubíqua [14]. Uma abordagem centrada em um modelo de ecossistema educacional permite ampliar as propostas de *Context-Aware U-Learning System* [41], apontando com maior precisão o impacto da inserção de novas tecnologias no ambiente educacional.

Estudos que tratam das questões de computação ubíqua na educação por meio do uso de dispositivos apresentam significativos esforços na compreensão de um modelo dependente de determinados dispositivos [42].

Tradicionalmente, a computação ubíqua é caracterizada pelo uso de dispositivos portáteis, focando inicialmente no uso de pdas (*personal digital assistant*) e, mais recentemente, no uso de smartphones [43]. As tendências apresentadas pelos conceitos de IoT, no entanto, demandam novas necessidades adequadas ao ambiente educacional que dificilmente serão resolvidas apenas por software em tablets ou smartphones.

Kalaivania e Sivakumar [44] apresentam estudos relacionados aos conceitos de educação sensível ao contexto e onipresente, *context-aware u-learning*, por meio de uma revisão da literatura. Destacam-se abordagens que envolvem integração entre dispositivos diversos e arquiteturas focadas em soluções de problemas pontuais [44]. Entretanto, nenhum dos trabalhos identificados por Kalaivania e Sivakumar [44] apresenta uma estratégia focada em problemas genéricos por meio de uma proposta arquitetural sobre uma ótica de ecossistemas.

Em uma apresentação dos conceitos relevantes para a compreensão de *U-Learning* [45] e do seu ambiente os autores fazem uma abordagem em que são explorados diversos dispositivos e como estes podem participar no contexto de ensino e aprendizagem. Apesar de considerar as várias possibilidades e complexidades da educação onipresente este trabalho repete a mesma estratégia da tentativa de uma simples adaptação de dispositivos para o ambiente educacional.

Trabalhos científicos recentes sobre conceitos de educação sensível ao contexto e onipresente destacam a relevância da IoT [44, 46]. Nas obras identificadas existe uma preocupação com inserção desta nova tecnologia no contexto da educação, mas nenhuma delas apresenta estratégias de uso de ferramentas integradoras capazes de prover a infraestrutura necessária para uma implementação realmente onipresente e sensível ao contexto.

Em particular, a computação ubíqua ciente de contexto também apresenta soluções genéricas para uma maior interação entre ambiente, atores do processo educacional e dispositivos integrados a sensores e motores [47, 48]. A percepção da importância do uso de recursos de dispositivos embarcados passa a ter destaque em trabalhos recentes, mas ainda de forma incipiente [48].

A sensibilidade ao contexto aplicada de forma ubíqua no ambiente educacional depende de grandes quantidades de informações, para que seja possível a seleção do conteúdo ou abordagem mais adequada a cada estudante ou professor. Forkan, Khalil, Ibaida e Zahir [49] avaliam a necessidade do uso de estratégias de *Big Data* para um ambiente sensível ao contexto e, apesar do trabalho não tratar das questões educacionais, a apresentação da necessidade de infraestrutura para o processamento de informações sensíveis ao contexto está alinhada com a proposta desta tese.

O estudo do processo de ensino e aprendizagem não limitado aos modelos clássicos de educação, que enfatiza o papel da tecnologia, é denominado *seamless learning* [50, 51], que, em tradução livre, significa: educação contínua. Experiências obtidas em vários espaços, inicialmente focados na reforma na educação de nível médio nos Estados Unidos, apontam que a

pesquisa acadêmica centrada nos conceitos de *mobile seamless learning* passa a se interessar na integração com dispositivos eletrônicos e ferramentas multimídia [52].

Os conceitos de educação contínua indicam a importância do uso de diferentes tecnologias portáteis ou fixas, *online* ou *offline*, atuando conjuntamente para uma experiência contínua de aprendizagem para os estudantes. Professores exercem papel de facilitadores e usam as tecnologias para entrega de conteúdo, além de gerenciamento e monitoramento do processo de ensino e aprendizagem [16].

As definições dos conceitos de educação ubíqua, sensível ao contexto e contínua estão alinhados com parte das propostas de implementação desta tese. No entanto, a infraestrutura necessária e o foco restrito a poucos atores envolvidos com o ambiente educacional são lacunas dos estudos que tratam do assunto. A definição de ecossistema educacional e a implementação de soluções de IoT integradas por SoC permitem o fornecimento de infraestrutura para uma plena implementação de educação contínua.

A arquitetura computacional de apoio ao processo de ensino e aprendizagem não é um tema explorado nos estudos de educação ubíqua sensível ao contexto. Várias experiências que utilizam dispositivos móveis e sensores são relatadas na revisão de literatura, mas nenhum dos trabalhos encontrados sugere um modelo de ecossistema com uso de ferramentas integradoras utilizando SBCs. A implementação de um modelo arquitetural é relevante para a efetivação de uma educação ubíqua, sensível ao contexto e contínua.

Os conceitos de educação ubíqua e sensibilidade ao contexto identificados na literatura são materializados em um ecossistema educacional apoiado por computadores. O arcabouço conceitual desta tese, apresentado no capítulo 4, oferece uma proposta arquitetural que implementa os conceitos de uso das TICs de forma onipresente e ajustável com diferentes espaços dedicados ao ensino e aprendizagem. A abordagem unificada de educação ubíqua e sensibilidade ao contexto implementada a partir das definições de ecossistema traz uma evolução dos modelos de representação do uso de computadores no apoio ao processo de ensino e aprendizagem.

2.3 PROJETOS DE USO DE COMPUTADORES NAS ESCOLAS

O uso das TICs como ferramenta de apoio ao processo de ensino e aprendizagem, por meio de projetos propostos e geridos pelo poder público ou por organizações não governamentais, norteou o uso de computadores nas escolas. A concepção de um ecossistema educacional apoiado por computadores passa pelo entendimento de pontos fortes e fracos nos principais modelos de inserção das TICs nas escolas utilizados no passado. Esta sessão apresenta o estado da arte dos mais relevantes projetos de uso de computadores nas escolas, que inspiraram, ou foram aplicados no Brasil.

O programa Um Laptop por Criança (OLPC, *One Laptop per Child*) foi concebido por uma equipe do Massachusetts Institute of Technology, MIT, Media Lab. no ano de 2005. Este projeto tinha por objetivo promover inclusão sócio-digital em regiões pobres do mundo por meio do uso de laptops com custo inferior a US\$100,00, concebidos para o uso educacional [11].

O OLPC é mantido por uma entidade não governamental, baseada nos Estados Unidos da América, com a missão de empoderamento das crianças em idade escolar pelo incentivo ao uso de computadores conectados, e na busca de promover igualdade de oportunidades para as crianças e para suas famílias[53].

Apesar de sua abordagem educacional, o uso dos dispositivos propostos pelo OLPC não impactou na qualidade da apresentação dos conteúdos em sala de aula ou provocou mudanças nas práticas pedagógicas advindas do uso dos laptops [11]. Sharma [54] destaca resultados

ligeiramente positivos no ensino de matemática, porém negativos em linguagem na adoção dos equipamentos em escolas públicas no Nepal.

Na Espanha, um projeto para inserção de tecnologia, denominado *Red Tecnológica Educativa* (RTE) [55, 56] propôs um modelo de uso de tecnologias para incorporação no sistema educacional da comunidade autônoma de Extremadura. Este projeto apresentou preocupação com a criação de infraestrutura, pesquisa e suporte ao parque computacional instalado. Em busca de independência de fornecedores, o projeto adotou o uso de software livre como forma de autonomia e controle das tecnologias utilizadas [55].

Como resultado do RTE, Extremadura conta atualmente com um parque de 60.000 computadores nas escolas de ensino fundamental e médio [57]. No entanto, o uso dos computadores adota o modelo de laboratórios de informática com a configuração de um computador para cada cinco ou seis estudantes. Apesar de todo investimento estatal, a apropriação das tecnologias ofertadas pela RTE pelos docentes ainda é muito pequena [57].

O termo *ecológico-informativo* é utilizado por Berrocoso [55] para descrever a implementação do RTE e mostrar a visão integrada oferecida pelo projeto e a aproximação com o tema desta tese. Avaliações recentes do projeto apontam problemas relacionados à mudança no uso de computadores advindos do crescente uso de tecnologias móveis [57] e IoT na educação.

No Brasil, em 2008 foi concebido o projeto “um computador por aluno” (UCA), com o objetivo de promover acesso às tecnologias de informação para os estudantes e professores do ensino fundamental e médio [58]. Percebe-se uma forte influência dos objetivos do OCPC [59], especialmente nas ferramentas adotadas para sua implementação, focada na entrega de computadores portáteis para estudantes. Um estudo avaliativo indica que a adoção dos computadores nas escolas apresentou impacto negativo para a qualidade de vida dos professores [59], o estudo, no entanto, não apresenta dados relativos à necessidade de preparação dos professores para o uso dos dispositivos.

Outra iniciativa, o projeto UCA (ProUCA) buscou um modelo de inclusão digital onde o aluno atua como ponto focal na disseminação do conhecimento, promovendo acesso às tecnologias da comunicação para a família [60]. Esta abordagem defende que um dispositivo, aliado ao conhecimento adquirido pelo aluno, agrega um número maior de pessoas que usufruam do recurso e tenham acesso às TICs. Nota-se que o projeto não teve foco na abordagem de uma infraestrutura adequada para oferecer o uso racional dos computadores que seriam distribuídos no projeto.

Ainda no Brasil, o Projeto Paraná Digital (PRD) [61] foi uma das poucas iniciativas de uso de computadores nas escolas que apresentou uma implementação compatível com o conceito de um ecossistema educacional. Os objetivos do projeto previam a inserção do uso de computadores nas escolas públicas do estado do Paraná para a melhoria da qualidade da educação básica [10] oferecendo como ferramentas, o portal Dia-a-Dia Educação e um ambiente computacional para estudantes e professores.

O PRD foi resultado de um esforço coordenado entre o Governo do Estado, o C3SL (Centro de Computação Científica e Software Livre) da Universidade Federal do Paraná, Copel (Companhia Paranaense de Energia Elétrica) e Celepar (Companhia Paranaense de Informática). Uma novidade apresentada pelo PRD foi a alteração na arquitetura dos computadores visando a redução de custos e uma maior adequação às necessidades educacionais, com uma estratégia de processamento centralizado [62] utilizando a arquitetura multiterminal. A adoção da arquitetura multiterminal foi além de um simples ajuste de tecnologia consagrada para o uso educacional, mas apresenta uma referência de que reconfigurações de hardware agregam qualidade na implementação de computadores nas escolas.

O PRD foi estruturado a partir da criação de um portal educacional, ampliação dos núcleos de tecnologia e implantação de laboratórios de informática nas escolas [10]. O conceito de criação do portal educacional foi projetado, inicialmente, como um repositório de conteúdo para ser disponibilizado aos professores mas foi implementado como um ambiente colaborativo onde os próprios professores atuavam simultaneamente como produtores e consumidores de conteúdo [10]. O modelo de construção colaborativa de conteúdo não obteve o sucesso almejado e, em 2016, o portal funcionava apenas como repositório de dados produzidos por profissionais contratados para este fim, conforme sua concepção original [10].

Outra tecnologia inserida no contexto do projeto PRD foram as TVs Multimídia como um recurso capaz de levar objetos educacionais para as salas de aula [63]. A contribuição do programa para a melhoria da qualidade da educação é de difícil mensuração, mas sabe-se que o programa foi uma importante ferramenta de inserção de professores e alunos nas TICs [10].

A TV multimídia apresentou um modelo inovador no uso das TICs no processo de ensino e aprendizagem. Este dispositivo foi pioneiro em embarcar um *firmware* que permitia inserir pendrive e apresentar recursos multimídia como textos, áudios e vídeos para os alunos em sala de aula a partir de 2008 [63], muito antes da popularização da tecnologia das smartTVs. As TVs multimídia foram instaladas em todas as salas de aula das 2100 escolas do Estado do Paraná, e ainda em 2016, são identificadas evidências de uso destes dispositivos [63].

O uso de computadores nos laboratórios do PRD para a construção, ou busca no portal Dia a Dia Educação [64], de recursos educacionais digitais que são posteriormente apresentados nas TVs multimídia [65] demonstram a integração proporcionada pelo projeto. No entanto, as configurações do hardware utilizado no projeto não foram atualizadas, tornando-as obsoletas e sem interoperabilidade com tecnologias emergentes. Por outro lado, a proposta de um ecossistema educacional apoiado por computadores contempla a integração entre tecnologias obsoletas, emergentes e futuras, apresentado no capítulo 5 desta tese, estratégias estas, capazes de renovação dos dispositivos como os utilizados pelo PRD.

Apesar do PRD não observar o conjunto dos atores envolvidos no processo de ensino e aprendizagem, seu foco em prover infraestrutura de acesso contemplando software, hardware, um portal e infraestrutura apresenta uma visão mais completa do que projetos que visam apenas oferecer dispositivos de hardware aos estudantes. Mais de 40.000 computadores com acesso à internet foram disponibilizados em todas as escolas públicas do estado do Paraná [61].

As premissas e modelos de implementação utilizados no PRD são referências importantes para a concepção de um modelo de ecossistema educacional. As experiências com a implementação de soluções de hardware como o multiterminal e a TV multimídia [66] demonstram que novas tecnologias, baseadas em dispositivos, podem ser uma importante ferramenta para redução de custos e melhoria do ambiente computacional.

O uso de recursos de informática sem uma efetiva mudança nas estratégias educacionais, não provoca palpáveis mudanças na maneira como os aprendizes interagem com a construção do conhecimento. A inserção de computadores no ambiente escolar por si só, não promove mudanças em relação ao aproveitamento escolar e nem elevação do nível de conhecimento. Experiências baseadas apenas na adoção de dispositivos específicos como o OLPC e UCA, não demonstraram significativos efeitos na melhoria do processo de ensino e aprendizagem.

As novas tecnologias desenvolvidas especificamente para o uso nas escolas, a partir do desenvolvimento de soluções de hardware e software, como o caso do PRD, aparecem como implementações com êxito e longevidade. Uma abordagem que adote os conceitos de educação contínua, ubíqua ou sensível ao contexto, aliada a uma estrutura pensada sobre a ótica de um ecossistema educacional, permite um novo modelo de uso de TICs na educação.

2.4 INTERNET DAS COISAS

A origem do termo IoT (*internet of things*), em tradução literal, internet das coisas, surgiu no final da década de 1990 por meio de uma proposta de identificação única de dispositivos, utilizando rádio frequência. O termo IoT passou a ser utilizado como uma referência para definir dispositivos capazes de estabelecerem comunicação por meio de redes [67]. A expressão popularizou-se e atualmente é amplamente utilizada para referenciar-se a hardware e sistemas embarcados, além de vários usos de SBC.

A IoT refere-se ao uso de dispositivos com alguma capacidade de processamento para a realização de tarefas pontuais por meio de placas de baixo custo, dotados de alguma forma de comunicação com outros dispositivos por meio de infraestrutura de rede e uma nova forma de interação com as TICs [68].

Para Azamat, Zhulduz, Rassim e Zhazira IoT consiste em quatro pilares: coisas, pessoas, processos e dados [69]. Heasham [69] apresenta que o uso da IoT em campus universitário reduz custos e tempo, automatiza a manutenção, protege o meio ambiente, melhora a eficiência dos estacionamento, melhora o controle de presença nas aulas e auxilia os estudantes no deslocamento pelo campus.

Ferramentas de IoT podem oferecer um relevante recurso no processo de ensino e aprendizagem ao permitir interação com objetos do mundo real, não apenas simulações [70]. A abordagem do uso de dispositivos desvinculada de um contexto de ecossistema educacional insere novidades para o ensino, mas de forma independente e de difícil conexão.

Em relação ao consumo de energia e alto desempenho, o trabalho de Padoin, Oliveira, Velho e Navaux [71] investiga o desempenho de alguns produtos da família de processadores SoC, considerando o comportamento dos produtos em operações de alto desempenho. Neste trabalho dos pesquisadores, o foco foi a capacidade da execução de tarefas a partir de diferentes parâmetros de configuração que avalia o consumo de energia dos dispositivos em relação à realização de tarefas como operações com valores de ponto flutuante e inteiros [71]. O baixo consumo de energia é uma característica importante quando se apresentam as questões de ubiquidade, mas os trabalhos analisados não abordam estas questões.

No contexto da educação, a IoT apresenta duas facetas distintas, podendo ser abordadas sob a ótica do ensino das TICs, ou no uso de hardware para o aprimoramento do ambiente físico [72]. O uso de dispositivos de IoT pode facilitar a interação entre os recursos educacionais digitais utilizados em sala de aula. No trabalho de Gul et al [72] identifica-se que as pesquisas que relacionam a IoT com o processo de ensino e aprendizagem têm foco no uso de sensores e registro de presença dos estudantes.

Gul et al [72] apresentam como desafios do uso da IoT nas escolas o aprimoramento da segurança e privacidade, conexões confiáveis, gerenciamento de serviços e a redução de custo da infraestrutura da escola. Bagheri e Movahed [73] apresentam quatro grupos de uso da IoT em educação: gerenciamento de energia; gestão no controle de acesso; monitoramento da saúde de estudantes e professores e melhoria do ambiente educacional. As aplicações de componentes de IoT apresentados nestes trabalhos não definem nenhuma proposta de infraestrutura ou estratégias de implementação de soluções.

A aplicação de ferramentas de IoT para o ensino presencial existe nos conceitos de *smart Campus* e *smart classroom*. Estes conceitos buscam definir e compreender esta forma de uso de tecnologia nas escolas, utilizando uma abordagem que pode ser ampliada através da representação, por meio de um modelo de ecossistema educacional. Assim, a identificação e apresentação de modelos de implementação sob a ótica de um ecossistema, oferece o suporte para o desenvolvimento de *smart classroom* ubíqua e sensível ao contexto.

A primeira citação mencionando o termo *smart classroom*, identificado utilizando o indexador Google Scholar, apresenta patente de um modelo de móvel para o ensino de línguas [74]. O modelo apresentado nesta solicitação de patente é semelhante ao mobiliário utilizado em salas de ensino de idiomas utilizados até o início da década de 2000. O uso de ferramentas de TIC aplicado ao conceito de *smart classroom* é encontrado na literatura apenas em 1989 [75], já o termo *smart campus* pode ser identificado no trabalho de Heier, Cooley e Reitz em 1993 [76].

Smart classrom é um termo aplicável a uma estratégia de transformação do ambiente tradicional de ensino e aprendizagem presencial em um modelo com maior engajamento e conectividade por meio de ferramentas de TICs [77].

Duas gerações de conceitos são identificados na implementação de soluções de software e hardware nas instituições acadêmicas, uma no período entre 2001 e 2007 e outra surgida a partir de 2008. Segundo Uskov, Bakken e Pandey [77], a primeira geração estava focada na entrega síncrona de conteúdo, enquanto a segunda tem maior atenção nas tecnologias móveis.

Os componentes das novas gerações de Smart Classroom compreendem dispositivos de hardware, tecnologias emergentes, atividades relacionadas ao processo de ensino e aprendizagem e tipos de pedagogias a serem aplicadas [77]. No trabalho de Uskov, Howlett e Jain são detalhados os componentes aplicados a esta nova geração de Smart Classroom. A necessidade de aprofundamento nos estudos de Smart Classroom terá um grande crescimento em um futuro próximo.

Para Gligori, Uzelac e Krco a combinação de recursos de IoT com análise comportamental e social permite transformar as tradicionais salas de aula em ambientes capazes de fornecer informações para apoiar o professor em relação a satisfação dos estudantes durante a apresentação de conteúdo [78]. O uso de recursos de TIC faz com que o processo de aprendizagem se torne mais interessante, eficiente e prazeroso [78]. O estudo esteve focado no uso de sensores para a identificação de fatores ambientais que poderiam ter influência na qualidade do aprendizado nas aulas presenciais.

Yau et al. [79] apontam que os recursos de hardware para Smart Classroom são divididos em duas categorias: dispositivos de infraestrutura e dispositivos móveis. Nesta abordagem os dispositivos de infraestrutura são equipamentos fixos nas salas de aula enquanto os dispositivos móveis estão fisicamente conectados com professores e estudantes [79]. Smart classroms facilitam o processo de aprendizagem em um modelo de educação ubíqua e sensível ao contexto [79].

A IoT traz para o contexto educacional duas grandes principais contribuições: apoio para atividades didáticas e melhoria no ambiente de ensino e aprendizagem. O papel da IoT como ferramenta educacional é um conceito ainda não bem delimitado pela literatura, mas tem tendência de ocupar um espaço cada vez maior nas pesquisas de informática na educação. As propostas de ecossistema educacional apoiado por computadores, apresentadas nos próximos capítulos desta tese proporcionam um ambiente preparado para uma maior inserção dos recursos de IoT para a melhoria da educação.

2.5 SOLUÇÕES COM SINGLE BOARD COMPUTER

Os SBCs são dispositivos de *hardware*, adequados ao uso como ferramenta integradora, e capazes de substituir várias das funcionalidades de laptops e computadores tradicionais. Existem diferentes implementações de SBCs concebidas para diferentes atividades que incluem desde processos de automação até o processamento de grandes massas de dados. A capacidade de execução de sistemas operacionais, várias interfaces para troca de dados, baixo custo de aquisição,

diversidade de configuração e fornecedores, são algumas características que indicam o potencial de uso de SBCs para apoio do processo de ensino e aprendizagem.

Alguns modelos de SBC contam com capacidade de processamento memória RAM, capazes de processar informações em centros de dados [17, 18]. Mesmo os dispositivos com limitada capacidade de processamento são capazes de conectar-se a redes e executar algoritmos criptográficos com bom desempenho. Muitos dos SBCs suportam a instalação de distribuições Linux [80], com a disponibilização de grande parte dos softwares, compilados para várias distribuições em arquiteturas tradicionais, migrados para processadores da família ARM, sigla para *Advanced Risc Machine*.

As implementações de SBCs oferecem uma abordagem inovadora como dispositivo que aproxima os computadores tradicionais, dispositivos móveis e IoT. O baixo custo e flexibilidade de implementação destas ferramentas permite que a escola seja capaz de usufruir dos benefícios de suas características que, oferecem possibilidades de integração com dispositivos eletrônicos e baixo consumo energético[18].

Existem diversos projetos de SBCs [81], alguns com licenças livres, sendo possível escolher entre uma gama de fornecedores ou adaptar projetos com base em produtos específicos [82]. Os diversos projetos implementam vários modelos de processadores e recursos como interfaces de rede sem fio e memória flash interna. Uma das mais destacadas características entre estes projetos é a padronização de interfaces GPIO (General input output) que permitem o desenvolvimento de integração de componentes de forma simples e bem documentada.

A integração entre SBCs e smartphones tem sido utilizada como solução para a construção de dispositivos de uso específico [83, 84]. Smartphones podem ser empregados para o fornecimento de entradas a serem processadas ou coletar informações persistidas pelo SBC, coletar dados ou fornecer ações que demandam de maior poder de processamento na tomada de decisões [85]. A implementação de uma integração complexa entre dispositivos móveis e SBCs pode ser identificada em [86].

O mais popular SBC é o Raspberry Pi [87], uma implementação de SBC, que surgiu com uma proposta de computador de baixo custo concebido para ser utilizado como ferramenta educacional nos cursos de computação da Universidade de Cambridge[88] e obteve grande sucesso. O uso de SBCs apenas como ferramentas para a substituição de computadores que reproduzem uma arquitetura tradicional de laptops [89] pode ser um subaproveitamento das capacidades disponíveis nas placas mais populares e de menor custo.

Yamanoor [82] aponta o uso de versões do Raspberry Pi como ferramenta de apoio educacional em países com diferentes níveis de desenvolvimento econômico. O uso de SBCs aplicado à melhoria do entendimento de ciências, tecnologias, engenharia e matemática permite equidade de oportunidades para nações desenvolvidas, e em desenvolvimento instigando o interesse dos estudantes por meio de experimentos utilizando interfaces GPIO [82].

A arquitetura dos SBC aproxima os envolvidos com as atividades de ensino e aprendizagem com o ambiente por meio de sensores [90]. Este uso de sensores pode ir além do simples consumo de informações, podendo ser aplicado ao aprimoramento do pensamento computacional. SBCs podem ser utilizados para o estudo de integração, por meio de sinais digitais e analógicos, sem a necessidade de laboratórios de eletrônica.



Figura 2.1: Modelos de SBC experimentados na pesquisa: 1 - Raspberry Pi Zero W; 2 - Raspberry Pi V3; 3- Rock 64; 4 - Raspberry Pi V4; 5 - Pine 64; 6 - Orange Pi V3 Curitiba, 2020

SBCs apresentam potencial para a produção de infraestrutura especialista para o apoio ao processo de ensino. Em um ecossistema educacional SBCs destacam-se como componentes flexíveis para apoiar a implementação de soluções que auxiliam tanto as demandas diretamente ligadas ao ensino, quanto para as atividades de gestão e de manutenção de infraestrutura física da escola. A literatura apresenta o uso de SBCs como ferramenta aplicada principalmente ao ensino de computação, com escassos estudos sobre o uso destas ferramentas para a melhoria do processo de ensino e aprendizagem em outras disciplinas.

2.6 DISPOSITIVOS MÓVEIS COMO FERRAMENTA EDUCACIONAL

O uso das tecnologias móveis foi rapidamente assimilado por diversos setores da sociedade, mas o ambiente de ensino presencial apresenta grande resistência à adoção destas ferramentas. Os impactos negativos no uso de smartphones em salas de aula são frequentemente apontados como um problema [91]. Estudantes tendem a utilizar seus dispositivos móveis para atividades diferentes daquelas que contribuem para o conteúdo discutido em sala de aula [91, 92].

Avaliações do uso educacional de tecnologias da informação e comunicação, com foco em mobilidade de dispositivos, acompanham o processo de evolução destas tecnologias desde os primeiros equipamentos surgidos no mercado. Sharples e Baele [93] apresentaram no início da década de 2000, um estudo sobre capacidades do uso de computadores de menores dimensões e capazes de utilizar redes móveis populares nesta época.

No trabalho de Sharples e Baele [93] não foram exploradas as possibilidades de uso educacional destes equipamentos. No entanto, a descrição comparativa dos recursos existentes apontou a disponibilidade de recursos computacionais compatíveis com aqueles encontrados nos equipamentos de maior porte, como os computadores de mesa.

Uma das principais abordagens em estudos relativos à mobilidade em educação são as capacidades de mobilidade de dispositivos utilizados para processar as informações, ou seja foco em dispositivos. O termo *mobile learning* pode ser compreendido como um aprendizado assistido por dispositivos móveis, tirando o foco da mobilidade do aprendiz. Um questionamento

que pode ser discutido sobre a mobilidade é a percepção de movimentos do aluno e identificação da contribuição do dispositivo com o processo [94].

A definição da tecnologia centrada no ator humano está relacionada à percepção do relacionamento dos indivíduos com as ferramentas. As necessidades das pessoas têm sido estudadas na perspectiva sobre como pensam, aprendem, trabalham e interagem com estas ferramentas [94].

Smartphones e tablets apresentam grande potencial como ferramentas de apoio ao processo de ensino e aprendizagem [95]. Os preços acessíveis a uma grande parte da população, especialmente em países desenvolvidos [96, 97] permite que estes passem a ser inseridos em salas de aula para o consumo ou apresentação de conteúdo. Por outro lado, devido ao foco no consumo de conteúdo e comunicação rápida entre pessoas e sistemas, sua capacidade de uso como ferramenta de produção de objetos educacionais ainda é limitada.

O uso de dispositivos móveis é uma realidade que cada vez mais se aproxima dos achados de Looi et al [50] que constataram que a tendência do aumento significativo, e presença ubíqua nos processos educacionais, gera uma nova fase nas tecnologias aplicadas à educação. Sung, Chang e Liu [98] apontam a diversidade de equipamentos e benefícios obtidos com o uso de computadores, especialmente aqueles baseados em tecnologias móveis diferentes umas das outras.

Dispositivos móveis podem causar situações disruptivas em sala de aula [99] mas o banimento destas ferramentas em aulas presenciais ignora a realidade dos estudantes. No Brasil, mesmo com as desigualdades sociais, um número considerável de estudantes são usuários de smartphones. A tabela 2.1 revela como é a distribuição da posse de dispositivos móveis entre os estudantes nas regiões brasileiras.

Região	Total	Rural	Urbana
Região Norte	81,4	58,7	84,9
Região Nordeste	77,5	60,7	81,2
Região Sudeste	88,5	70,7	89,5
Região Sul	83,9	66,7	86,1
Região Centro-Oeste	82,5	64,3	87,0

Tabela 2.1: Distribuição do uso de smartphones por estudantes nas diferentes regiões do Brasil. Curitiba, 2010. Fonte [3]

O foco dos trabalhos que apresentam o uso de dispositivos móveis nas escolas está concentrado principalmente no uso de aplicativos para o aprimoramento do processo de ensino e aprendizagem [100]. A avaliação das arquiteturas de redes e ferramentas de integração voltadas a melhoria do uso das novas tecnologias, é uma abordagem ainda pouco explorada pela área da Informática na Educação.

2.7 O FRAMEWORK TPACK

O framework *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) traz uma importante ferramenta para apoiar o desenvolvimento de produtos, com foco nas atividades docentes, e oferece um conjunto de conhecimentos relevantes para a informática na educação [101, 1]. A apropriação das ferramentas de TIC com instrumento de apoio às atividades presenciais, passa pelo oferecimento de ferramentas adequadas às necessidades do docente em sala de aula. O domínio dos recursos tecnológicos para o ensino presencial é uma forma de empoderamento dos professores.

O TPACK trás um conjunto de artefatos teóricos para apoiar os professores em suas atividades didáticas [102] apresentados na figura 2.2. Este *framework* facilita a definição, a compreensão e o uso dos recursos tecnológicos para a prática docente presencial [1].

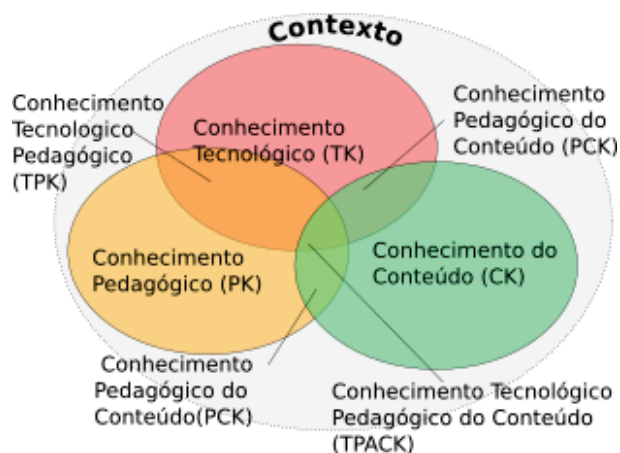


Figura 2.2: Representação do TPACK, baseado em [1]

O framework TPACK apresenta sete tipos de conhecimentos necessários para o uso das TICs como ferramenta de apoio à educação [101]. São apresentados três grandes domínios: o Conhecimento Tecnológico (*Technological Knowledge*, TK); o Conhecimento Pedagógico (*Pedagogical Knowledge*, PK) e o Conhecimento do Conteúdo (*Content Knowledge*, CK). A intersecção entre estes grandes conjuntos dão origem a três subconjuntos: O Conhecimento Tecnológico Pedagógico (*Technological Pedagogical Knowledge* TPK); o Conhecimento Pedagógico do Conteúdo (*Pedagogical Content Knowledge*, PCK) e o Conhecimento Pedagógico Tecnológico (*Technological Pedagogical Knowledge*, TPK). Da intersecção dos subconjuntos surge o Conhecimento Tecnológico Pedagógico do Conteúdo (*Technological Pedagogical Context Knowledge*, TPACK).

As competências necessárias ao professor, para o bom uso das TICs, estão bem definidas no TPACK [103]. No entanto, os profissionais que atuam como desenvolvedores de soluções de software e hardware para uso educacional não dispõem de um referencial teórico tão completo. Os conceitos contidos no TPACK podem facilitar a aplicação dos conhecimentos dos profissionais de TICs para melhorar o uso de tecnologias no apoio à educação.

O domínio do conhecimento tecnológico pedagógico, apresentado no TPACK, abre caminhos para o bom uso de tecnologias existentes e das que ainda irão surgir. A junção dos domínios do conhecimento das tecnologias, da pedagogia e da IoT permitem repensar o uso de ferramentas depreciadas pela evolução tecnológica. Este modelo de integração apoia a equidade no uso das novas ferramentas tecnológicas, em escolas independentemente de sua estrutura financeira.

2.8 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Os modelos de educação ubíqua sensível ao contexto e contínua apresentam definições e conceitos que em conjunto com ferramentas de IoT compõem um modelo arquitetural e podem ser representados pela ampliação dos conceitos de ecossistema. A literatura consultada, de informática na educação, não apresenta soluções integradoras que ofereça suporte para a implementação de soluções representadas pelos diferentes modelos teóricos.

Estudos de uso de ferramentas de IoT, considerando SBCs como dispositivos integradores de uso genérico aplicado ao contexto da educação, são inexistentes nas referências consultadas. Não foi identificado, durante o processo de revisão de literatura, nenhum modelo de representação baseado em ecossistemas, apresentando a interação entre os atores, dispositivos e meios virtuais atuando de forma integrada para a melhoria da educação, exceto o artigo resultante do trabalho desta proposta de tese.

Por outro lado percebe-se a urgência na investigação das possibilidades de uso das tecnologias emergentes de maneira integrada. Dentre os principais projetos de inserção de tecnologias nas escolas, percebe-se que o esforço unificado em prover um ambiente considerando conjuntos de ferramentas (PRD) tende a trazer maiores benefícios aos estudantes e professores, que aqueles focados em uma única estratégia (OLPC e UCA).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta os requisitos conceituais, elencados a partir de conhecimentos acumulados no Projeto Paraná Digital, a serem atendidos por um ecossistema educacional apoiado por computadores, e dos dispositivos de hardware e ferramentas de software na implementação deste ecossistema. Os requisitos apontados decorrem do preenchimento de lacunas identificadas na literatura nos conceitos de ecossistema, de ubiquidade e sensibilidade ao contexto, aplicados simultaneamente. As tecnologias de *hardware* mais representativas para a implementação dos requisitos identificados, também são apresentadas neste capítulo.

3.1 REQUISITOS PARA UM ECOSSISTEMA EDUCACIONAL APOIADO POR COMPUTADORES

Em um ecossistema educacional apoiado por computadores os recursos educacionais complementam lacunas na apresentação e consumo de conteúdo didático. A disponibilização de informações para cada tipo de mídia, em momentos adequados ao uso, é utilizada para a melhoria do conhecimento. Mídias diferentes podem ser utilizadas de maneira colaborativa, como por exemplo, o envio de documentos com detalhes sobre dados apresentados por projetor multimídia ou TV, para os smartphones dos alunos.

A infraestrutura computacional é a chave para a implementação de um ecossistema educacional apoiado por computadores. A integração e interoperabilidade para os diversos artefatos utilizados em um ambiente educacional são providas por uma infraestrutura comum e de fácil implementação. A independência de cada dispositivo do ecossistema representa um menor acoplamento para a realização de tarefas pertinentes às atividades específicas do dispositivo.

A literatura consultada apresenta a sustentação teórica para a proposição de requisitos de TICS, que devem ser observados na implementação de um ecossistema educacional apoiado por computadores e que é apresentada em detalhes no capítulo 5. A proposição dos requisitos para a delimitação de ecossistemas educacionais apoiados por computadores busca preencher uma lacuna na literatura da informática na educação. As decisões de implementação e seleção de dispositivos de hardware e software apresentados como adequados ao uso das TICs, para apoio ao ensino em um ecossistema educacional apoiado por computadores, devem ser direcionadas pelas premissas apresentadas a seguir.

3.1.1 Reduzir a desigualdade no acesso às TICS

O uso das TICs para apoiar o processo de ensino e aprendizagem de forma equitativa, capaz de oportunizar o acesso aos recursos educacionais digitais deve oferecer independência do poder aquisitivo dos atores no processo de ensino e aprendizagem. Em um ecossistema educacional apoiado por computadores, os recursos de TIC podem ser utilizados em ambientes com restrição de acesso às tecnologias mais novas como, por exemplo, pelo provimento das funcionalidades de modernas smartTVs nas TVs Multimídia, por meio de SBCs.

A integração por meio de oferecimento de infraestrutura de rede adequada às demandas de salas de aula, a estrutura de armazenamento, o processamento de dados e a apresentação de conteúdo por custos muito baixos colaboram com a equidade no acesso às TICs. Um ecossistema educacional apoiado por computadores tem que contar com dispositivos que ofereçam, com

reduzidos investimentos, salas de aula com capacidade de ampliar o uso dos recursos multimídia mesmo sem acesso à internet.

Os projetos de inserção das TICs nas escolas utilizando computadores individuais [11, 53, 58], provendo infraestrutura [61, 10, 64] ou inserindo dispositivos inovadores [63] apresentam a importância da democratização e disseminação das TICs nas escolas. Os projetos identificados na literatura demonstram que a equidade de uso das TICs é um valor a ser alcançado, para uma efetiva melhoria do processo de ensino e aprendizagem.

3.1.2 Prover infraestrutura para apoio às práticas didáticas

O uso de plataforma comum para recursos de diversas disciplinas oferece um ambiente único concebido para o ensino suportado por computadores. A utilização de formatos de arquivos populares, como vídeos e documentos PDF, permite o reaproveitamento de aprimoramento de conteúdo independentemente da disciplina ministrada pelo professor. O uso de plataforma comum que traga o conhecimento prévio dos atores envolvidos como o processo de ensino e aprendizagem é um incentivo ao uso maior das TICs para a produção e consumo de conteúdo.

A infraestrutura de um ecossistema educacional apoiado por computadores deve oferecer recursos para apoiar o ensino em qualquer domínio do conteúdo [101]. A inserção de novos componentes, aplicados a um domínio do conteúdo específico se beneficia das ferramentas disponibilizadas pelo sistema. Assim sendo, o ecossistema deve prover ferramentas comuns às práticas do domínio pedagógico disponibilizadas de forma interoperável.

A infraestrutura para as práticas didáticas do professor de um ecossistema educacional apoiado por computadores tem que proporcionar interfaces de entrada e saídas para prover a interação entre o professor e as espécies digitais do ambiente. As interfaces utilizadas no ecossistema devem incorporar os dispositivos com os quais o professor tenha maior familiaridade, diminuindo assim, a resistência às mudanças provocadas pelo uso de novas tecnologias [104].

3.1.3 Empoderar os atores do processo de ensino e aprendizagem

Oferecer ferramentas de TIC para apoiar o processo de ensino e aprendizagem envolve componentes de *software* e *hardware* que agreguem valores, tanto às práticas pedagógicas, quanto às de gestão do ambiente. Em um ecossistema educacional apoiado por computadores as informações são compartilhadas e acessíveis a todos aqueles que tenham permissões para acessá-las. Da mesma maneira, os seres digitais do ecossistema tem que interagir com os componentes que necessitem enviar informações para estes seres.

O modelo de controle complexo, de larga escala, heterogêneo e autoadaptável [32] prevê que cada elemento, que contribua com o objetivo fim do ecossistema, é um componente do mesmo. A aplicação de granularidade dos modelos de ecossistemas [25, 27] ao contexto da educação indica que vários subsistemas dedicados à gestão e controle se inserem em um ecossistema educacional apoiado por computadores. A integração entre os diferentes atores como professores, estudantes, gestores, sistemas, sensores entre outros, gera resultados mais eficientes uma vez que agrega informações diferentes para apoiar as tomadas de decisão.

3.1.4 Promover integração e interoperabilidade entre ferramentas

Novas e antigas tecnologias devem ser capazes de interoperar por meio de protocolos comuns, da forma mais abrangente possível. Especificações e troca de mensagens, utilizando padrões abertos, permitem que aplicativos desenvolvidos por diferentes pessoas e corporações possam atuar colaborativamente. As ferramentas de software e hardware geralmente são

desenvolvidas para aplicações com foco em outras atividades que não as educacionais, mas podem ser repensadas para este uso, quando utilizadas de forma integrada.

A interação entre as espécies é uma das definições mais importantes de ecossistema [25, 26, 28, 12]. Padrões de interoperabilidade permitem a troca de informações entre diferentes implementações, independentemente de configurações de integração.

Ferramentas que sofreram depreciação tecnológica podem ser reaproveitadas por meio de integração. Antigos dispositivos podem ser adaptados para interagirem com novas tecnologias por meio de interfaces integradoras. O reaproveitamento de ferramentas que perderam parte da utilidade, devido à descontinuidade de evolução de hardware, ainda pode ter papel importante como instrumento de transição.

A dependência de infraestrutura prévia com tecnologias específicas é um desafio para um modelo de educação com equidade. A disponibilidade do uso dos objetos educacionais deve ser o mais independente possível da existência de infraestrutura prévia e acesso a redes externas como a internet. Ferramentas para apoio ao ensino presencial devem adaptar-se ao contexto de conectividade.

A interação entre as espécies é um dos fundamentos de ecossistema [25, 26, 28, 12]. Sem a comunicação entre os componentes não existe um ecossistema, logo, um ecossistema educacional apoiado por computadores tem que prover infraestrutura de comunicação própria. Laptops, computadores de mesa e SBCs e até smartphones são dispositivos capazes de prover a infraestrutura necessária para conexões de rede Wi-Fi.

Um dos principais problemas identificados nos projetos de uso de computadores nas escolas decorre da evolução de tecnologias e obsolescência dos dispositivos de hardware [57]. Projetos como a TV Multimídia, por exemplo, podem ter sua vida útil ampliada utilizando SBCs como substituto ao sistema embarcado, que não permite atualizações, no aparelho [86]. Recursos de hardware integradores, compostos por processadores de uso geral, tendem à longevidade e podem ser atualizados pela substituição do sistema operacional.

3.1.5 Promover a ubiquidade sensível ao contexto

O ambiente educacional limitado geograficamente não representa uma restrição ao acesso das informações. Os dados mantidos em uma rede limitada geograficamente, bem como os recursos acessíveis em determinado espaço físico, podem trafegar para outras redes com dispositivos específicos para este fim. Um exemplo desta característica são os smartphones que interoperam entre diferentes redes permitindo a mobilidade das informações para qualquer lugar a qualquer momento.

A educação ubíqua requer a disponibilidade dos conteúdos a qualquer momento e onde quer que estejam os atores do processo de ensino e aprendizagem [45]. Um ambiente de aprendizagem ubíqua proporciona um ambiente interoperável caracterizado pelas formas intuitivas para identificar os serviços certos nos tempos certos [14]. Yahya defende que a computação ubíqua é normalmente associada ao uso de diversos tipos de dispositivos usados no dia a dia das pessoas e dotados de sensores que permitem uma profunda interação com o ambiente [105].

A popularização do acesso às ferramentas de comunicação no ensino presencial rompeu com as limitações impostas por barreiras geográficas. Aplicações e dispositivos com foco educacional devem prever comportamento diferenciado em situações e ambientes diversos. A existência ou ausência de determinados dispositivos deve ser contornada por respostas a contextos diferentes. Os componentes de um ecossistema educacional tem que ser capazes de adequação a diferentes configurações de rede e espaços físicos.

Dispositivos móveis e sensores desempenham papel fundamental na implementação da sensibilidade ao contexto em um ecossistema educacional. Sensores podem coletar informações em diferentes espaços desconectados da rede e armazenar estes dados para disponibilização das informações, assim que voltem a ter acesso à rede. Da mesma maneira, smartphones e tablets podem utilizar diferentes interfaces de conexão para obter dados em redes externas ao ecossistema e depositar as informações em repositórios do ecossistema.

3.1.6 Apoiar a autonomia dos componentes

A autonomia de cada dispositivo, em um ecossistema educacional apoiado por computadores, representa a capacidade do dispositivo de realizar suas tarefas independentemente da disponibilidade de outro recurso. No entanto em um modelo de ecossistema os resultados de um determinado dispositivo podem ser consumidos por outro componente para agregar valor a este resultado. Os incrementos produzidos nas interações do ecossistema geram resultados melhores do que aqueles obtidos individualmente.

A implementação de uma infraestrutura capaz de realizar um conjunto determinado de tarefas, utilizando uma arquitetura e padrões comuns, permite a validação da infraestrutura necessária para o modelo. Cada um dos dispositivos inseridos no ecossistema deve resolver completamente as tarefas demandadas para este dispositivo, sem dependência de outros componentes. Isso significa que a inexistência de um componente não inviabiliza as demais tarefas do ecossistema.

Em um ecossistema as espécies atuam colaborativamente de forma que a soma de seus esforços contribuam com a melhoria do ambiente. Cada ecossistema educacional apoiado por computadores pode ter configurações diferentes umas das outras e atenderem as atividades que podem variar em diferentes ambientes. Um componente do ecossistema que pare de funcionar não deve comprometer componentes que não tenham dependência direta deste, por exemplo, um sistema para a gestão de presença não pode comprometer a execução de dispositivos de apoio à apresentação de conteúdo didático.

3.1.7 Agregar segurança da informação no contexto do ensino e aprendizagem apoiado por computadores

A integridade em um ecossistema educacional deve prover garantia que o conteúdo foi produzido por quem é reconhecido como emissário da informação. Todo conteúdo deve garantir a fonte de geração do mesmo, sua integridade e a não alteração do conteúdo original da informação. A integridade dos dados em um ambiente compartilhado é o requisito que permite uma ampla distribuição de informações com possibilidade de identificar a qualidade dos dados recebidos.

A segurança da informação, no entanto, pode ser aplicada independentemente da infraestrutura computacional. É possível que todas as transações sejam feitas sem a implementação de protocolos seguros, ou criptografia, utilizando processos de gestão que proporcionem garantias avaliadas como suficientes no contexto do ecossistema. A segurança da informação no contexto do ensino e aprendizagem garante não apenas a segurança do ecossistema, mas proteção jurídica para as transações.

3.2 DISPOSITIVOS DE *HARDWARE* EMERGENTES PARA APOIO AO ENSINO E APRENDIZAGEM

Nesta sessão serão apresentadas as arquiteturas de hardware avaliadas como as mais promissoras tecnologias para apoiar a infraestrutura de *hardware* alinhadas com os requisitos para um ecossistema educacional apoiado por computadores. Esta pesquisa identificou uma lacuna nos estudos destes dispositivos aplicados à construção de infraestrutura de apoio ao processo de ensino e aprendizagem.

3.2.1 Computação em neblina (*fog*)

Redes de computadores representam o principal meio de comunicação entre os dispositivos híbridos e virtuais de um ecossistema educacional apoiado por computadores. A integração entre as diferentes arquiteturas dos dispositivos de hardware e a grande quantidade de dados que podem trafegar durante apresentação de recursos multimídia em uma aula utilizando dispositivos pessoais, por exemplo, impõe configurações de rede particulares para este contexto. Os princípios da computação em neblina respondem às demandas exigidas na implementação de um ecossistema educacional apoiado por computadores.

Computação em neblina, ou computação em *fog*, é um novo paradigma do uso de computadores que representa extensão da computação em nuvem para os limites de redes locais [106]. Esta arquitetura computacional é adequada ao uso de dispositivos heterogêneos e ao tráfego constante de grandes quantidades de dados. A Computação em *fog* reduz significativamente a latência da rede e aprimora a qualidade dos serviços [107].

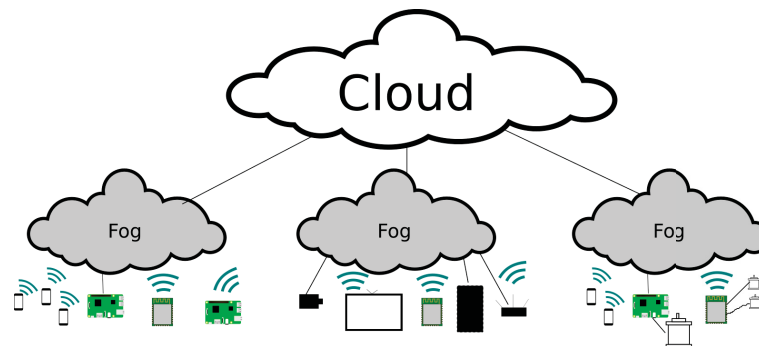


Figura 3.1: Representação de fog, Curitiba, 2020

As diferentes arquiteturas que interagem umas com as outras em um *fog* compreendem desde servidores com grande capacidade de processamento até sensores ligados a simples microprocessadores[108]. No entanto, apenas dispositivos com capacidade de processamento e capacidade de processamento de protocolos de rede devem ser efetivamente considerados como nós do *fog*. No contexto de *fog* sensores são apenas dispositivos eletrônicos que necessitam de conexão com algum recurso computacional para estabelecerem conexão com o ambiente computacional.

O uso de computação em *fog* promove o uso mais racional da infraestrutura de rede, reduzindo gargalos. Um *fog* é implementado em uma arquitetura distribuída e tolerante a falhas em um ambiente escalável [109]. No *fog* cada dispositivo é responsável pelo processamento e realização de tarefas pontuais, gerando resultados que são utilizados por outra espécie do ecossistema.

Os dispositivos de *hardware* apresentados nesta seção frequentemente podem ser beneficiados pela infraestrutura oferecida por um *fog* para interagirem entre eles. O uso deste tipo de configuração de rede é apontado como adequada em ambientes com forte presença de recursos de IoT [108, 110, 107] Para os dispositivos de *hardware* que serão apresentados a seguir, o *fog* representa a solução de configuração de rede adequada aos requisitos de um ecossistema educacional apoiado por computadores.

3.2.2 Single Board Computers SBCs

O uso das TICs para as demandas do ambiente educacional baseada em SBCs oferecem uma abordagem inovadora no uso da computação como ferramenta de promoção de infraestrutura de suporte ao processo ensino e aprendizagem. O baixo custo e flexibilidade de implementação destas ferramentas permitem que a escola usufrua dos benefícios de suas características relacionadas aos dispositivos eletrônicos e baixo consumo energético [18].

O uso de SBCs em um modelo de ecossistema educacional oferece uma infraestrutura computacional com uma camada de interface entre dispositivos que interagem com espécies com reduzido poder de processamento, sensores, hardware de entrada e saída que podem adotar interfaces USB, RCA, pinos com sinais digitais, hdmi, áudio, interfaces de rede ethernet, Wi-Fi no padrão 802.11, *bluetooth*, infravermelho entre outras, nas diversas implementações existentes.

Alguns modelos de SBC contam com capacidade de processamento memória RAM, capazes de processar dados de forma semelhante aos equipamentos tradicionais em centros de dados [17, 18]. Mesmo os dispositivos com limitada capacidade de processamento são capazes de conectar-se a redes e executar algoritmos criptográficos com bom desempenho. Muitos dos SBCs suportam a instalação de distribuições Linux, com a disponibilização de grande parte dos softwares compilados para a distribuição migrados para processadores da família ARM.

Muitos SBCs são dotados de um conjunto de pinos que permitem o recebimento e envio de sinais digitais para interação com dispositivos eletrônicos, denominados como *general purpose input/output* (GPIO). Este tipo de interface permite trabalhar com tensões que variam entre 3.5v e 5V com taxa de transferência que podem ser superiores a 115 Mbps. Esta característica torna os SBCs dispositivos versáteis para o uso em diferentes tipos de projetos nas escolas, desde experiências para as diversas disciplinas até a automatização e controle de processos.

A integração entre os sinais eletrônicos pode ser controlada por programas simples desenvolvidos em linguagens como Python ou implementações de cunho educacional. Atividades simples como acionamento de motores e de leds ou placas comercializadas para diferentes fins permitindo, por exemplo, experiências em sala de aula com experimentos envolvendo fenômenos químicos, físicos e biológicos. Sensores conectados diretamente aos SBCs possibilitam enriquecer o processo de ensino e aprendizagem sem a necessidade de laboratórios.

As interfaces de saída de áudio e vídeo de vários modelos de SBC incluem conectores HDMI e vídeo composto. A implementação de interfaces de áudio e vídeo utilizando as interfaces GPIO faz com que SBCs tenham a capacidade de reproduzir áudio e vídeo em todos os aparelhos para este fim comercializados. Esta capacidade, aliada com interfaces de rede, permite a ampliação do uso de recursos depreciados por inovações tecnológicas.

Conectores USB também são frequentemente encontrados nas implementações de SBCs. Este tipo de recurso permite a conexão com vários tipos de dispositivos que agregam funcionalidade de interação e armazenamento. Por meio de conexões USB é possível, por exemplo, ampliar a capacidade de persistência de dados ou inserir uma nova interface de rede.

Várias distribuições Linux já foram portadas para processadores ARM [80] e a grande maioria dos fabricantes de SBC disponibiliza sistemas operacionais com interface gráfica e um conjunto de aplicativos que atendem muitas das demandas dos usuários de sistemas educacionais.

É importante destacar que o uso de um sistema operacional com código fonte livre e aberto permite que este seja compilado da forma mais adequada ao dispositivo ou às necessidades de uso da aplicação.

No ambiente de ensino e aprendizagem os SBCs podem permitir a continuidade de serviços em situações adversas e ambientes hostis, como regiões mais pobres ou remotamente distantes de centros urbanos. O reduzido consumo de energia elétrica é um fator importante para a escolha de computadores para o suporte do ensino de *u-Learnig*. Muitos SBCs são capazes de operar com sistemas de fornecimento de energia de baixo custo, como *power-banks*, possibilitando o uso deste tipo de dispositivo em ambientes com rigorosas restrições de acesso às tecnologias.

O baixo custo de aquisição de SBCs, suas reduzidas dimensões, o menor consumo energético e a capacidade de processamento são características importantes para o uso educacional destes dispositivos. O papel deste recurso em um ecossistema educacional é o processamento de informações com uso de um sistema operacional genérico. Os principais produtos de software responsáveis por tarefas de armazenamento, manipulação de informações e infraestrutura podem ser centralizados neste tipo de dispositivo.

SBCs podem mitigar diferenças no acesso a recursos educacionais digitais. A capacidade de armazenamento e troca de dados deste tipo de dispositivo permite que ambientes com diferentes limitações de acesso a internet possam disponibilizar recurso offline.

3.2.3 Smartphones

O mais popular dos dispositivos móveis em 2020 é o smartphone. Grande parte das pessoas utiliza este tipo de dispositivo para diversas atividades profissionais e pessoais. Estas características fazem com que este tipo de recurso computacional tenha papel central em um ecossistema educacional.

Existe uma grande quantidade de aplicativos desenvolvidos para o uso educacional de smartphones. Estes aplicativos têm baixa integração e interoperabilidade uns com os outros e, em geral, não estão alinhados com a literatura científica de Informática na Educação [100]. Apesar de serem dotados de diferentes interfaces de comunicação, poucos são os aplicativos de uso educacional que interagem com ferramentas de IoT ou outros dispositivos.

Mesmo nos países em desenvolvimento, smartphones estão disponíveis à grande parcela dos estudantes e com tendência de um uso ainda maior deste tipo de dispositivos. Não foram identificadas políticas públicas de oferecimento destes dispositivos para professores durante a realização desta pesquisa, mas as estatísticas oficiais do Brasil apontam que este tipo de equipamento é utilizado pela maioria dos professores brasileiros [8]. A disponibilização de smartphones de qualidade para os professores facilita a interação com um ecossistema educacional.

No contexto do *fog* educacional, smartphone é a mais importante interface de comunicação com os atores humanos. A interação com SBCs permite estratégias de interação com diversos tipos de hardware, como, por exemplo, dispositivos de vídeo. A interação entre dispositivos dos atores de um ecossistema educacional suportado por computadores pode ser supervisionada.

Sistemas desenvolvidos para apoio às demandas do processo de ensino e aprendizagem devem apresentar interfaces intuitivas para os usuários. O desenvolvimento de aplicativos que usem telas semelhantes aos que os usuários estão habituados deve reduzir o tempo de aprendizagem e reduzir a resistência ao uso das novas tecnologias.

Os dois principais sistemas operacionais utilizados em smartphones são o Android e o iOS. No Brasil o uso do Android representa 87,95% dos smartphones conforme pode ser visto na tabela 3.2. Atualmente, na comparação mundial, apenas o SO Android conta com mais usuários

que qualquer outro, incluindo nesta comparação toda família Windows conforme apresentado na tabela 3.1.

Sistema Operacional	Brasil	Mundo
Android	27,81%	40,47%
iOS	3,89%	14,92%
OS X	6,15%	7,24%
Windows	60,66%	34,02%
Linux	0,74%	0,83%

Tabela 3.1: Uso dos principais sistemas operacionais, Curitiba, 2018. Fonte: [4]

Sist. Oper.	Brasil	A.Sul	A. Norte	Europa	Asia	Africa	Oceania	Mundo
Android	87,95%	89,47%	48,55%	71,67%	85,90%	83,78	48,19%	74,13%
iOS	11,65%	9,38%	51,24%	27,58%	12,29%	11,28%	51,48%	24,79%
Outros	0,40%	1,15%	0,21%	0,75%	1,9%	0,61%	0,33%	1,07%

Tabela 3.2: Uso dos principais sistemas operacionais em dispositivos móveis, Curitiba, 2018. Fonte: [4]

Apesar do crescimento de usuários de smartphones, o aproveitamento de uso de suas capacidades como ferramenta educacional ainda depende de improviso para ser atualizado de maneira estruturada. A busca por aplicativos construídos baseados em funcionalidades para apoio às atividades de ensino e aprendizagem de forma integrada não apresentou nenhum esforço neste sentido [100]. Aplicativos desenvolvidos para plataformas móveis focam em funcionalidades específicas sem preocupação com integração ou interoperabilidade [100].

Comparando a situação do Brasil com outros países do mundo, percebe-se que ainda existe grande influência no uso de arquiteturas tradicionais de computadores, conforme apresentado na tabela 3.1. Mesmo com um número de dispositivos móveis maior do que os de computadores de mesa ou desktops, computadores tradicionais são a principal fonte de acesso a informações de credibilidade no Brasil [111]. Esta tendência pode ser inferida analisando a tabela 3.1 onde mostra a forte presença do sistema operacional Windows no acesso à internet.

Ferramentas para o desenvolvimento de aplicativos para dispositivos móveis permitem a compilação para diferentes sistemas operacionais com o mesmo código fonte. No entanto, implementações integradoras que usam interação com funcionalidades específicas ou características particulares do sistema operacional são muito difíceis de serem implementadas utilizando ferramentas genéricas. A predominância do Android no Brasil, conforme pode ser observado na tabela 3.2, indica que no caso de necessidade de escolha de sistema operacional para o desenvolvimento de soluções inclusivas, este SO deve ser priorizado.

A dependência de interação entre camadas de implementação com chamadas ao sistema operacional na interação de smartphones com o ecossistema apresentado nesta tese e popularidade do sistema operacional Android, apoiou a decisão da implementação de experimentos apenas para esta plataforma. A disponibilização do código utilizando licença livre possibilita a migração da solução para outros sistemas operacionais de smartphone. As implementações realizadas para dispositivos móveis utilizando o sistema operacional Android visa apresentar formas de integração de smartphones em um ecossistema educacional.

3.2.4 Ferramentas de IoT

Existem fortes indicações que a IoT provocará mudanças nos processos em diversos setores, incluindo instituições educacionais [112]. O uso de dispositivos de IoT para o aprimoramento do ensino e aprendizagem pode prover maior interação entre as espécies abióticas disponíveis em ambientes educacionais e estudantes e professores. A literatura apresenta estudos, ainda incipientes, que buscam compreender o uso das tecnologias de IoT integradas ao processo de ensino e aprendizagem [70].

As ferramentas de IoT destacam-se no contexto educacional em três principais aspectos: o ensino de tecnologias; a automação das instituições de ensino e apoio a prática pedagógica. Em um ecossistema educacional apoiado por computadores todos estes três aspectos são contemplados por meio da integração entre componentes por meio de padrões abertos.

Os SBCs são recursos que interagem com desenvoltura com dispositivos de IoT, sendo algumas vezes considerados como módulos de processamento para sensores. A flexibilidade dos SBCs permite que estes representem papel de dispositivos semelhantes aos computadores tradicionais ou como meio de integração com sensores. Nesta tese os SBCs não são considerados dispositivos de IoT, pois a capacidade de processamento e memória destes recursos os colocam como computadores de uso múltiplo no entendimento de um ecossistema educacional apoiado por computadores.

Um ecossistema educacional apoiado por computadores oferece uma infraestrutura adequada ao uso das ferramentas de IoT. A implementação dos recursos baseados em padrões abertos e o uso de SBCs na arquitetura, propostos nesta tese, oferecem um ambiente propício para o futuro imprevisível que deve advir com o crescimento do uso das ferramentas de IoT.

3.3 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Um ecossistema educacional apoiado por computadores compreende a delimitação do ambiente e dos seres que neste interagem. As definições de computação em *fog* trazem uma estratégia de uso das TICs adequadas aos requisitos do ecossistema proposto. A inserção dos smartphones como componentes do *fog* educacional agregam ubiquidade para o ecossistema educacional apresentado.

O apoio ao processo de ensino e aprendizagem no contexto de um ecossistema educacional é influenciado pela tendência da inserção de novas TICs nas escolas. Um ambiente capaz de inserir estas novas tecnologias decorre do domínio de uso das ferramentas mais promissoras para apoiar o uso emergente de dispositivos. A identificação de requisitos a serem atendidos para promover um ambiente adequado com a interação entre os componentes que constituem o ambiente de ensino e aprendizagem presencial permite a delimitação de recursos adequados com implementações experimentais.

4 PROPOSTA DE UM ECOSSISTEMA EDUCACIONAL APOIADO POR COMPUTADORES

Neste capítulo será apresentada a delimitação de um ecossistema educacional apoiado por computadores, definição das espécies e suas interações e papéis por estes desempenhados no modelo proposto. A literatura apresenta lacunas na representação de espécies, que não estão inseridas no contexto virtual aplicado à realidade do contexto de ensino e aprendizagem. Os conceitos e definições propostos neste capítulo buscam preencher estas lacunas, trazendo definições que permitem compreender os papéis representados pelas TICs em um ecossistema apoiado por computadores no contexto da educação.

4.1 REPRESENTAÇÃO DE UM ECOSSISTEMA APOIADO POR COMPUTADORES

Os conceitos encontrados na literatura, aplicados às espécies em um determinado ambiente, trazem recursos limitados para percepção da infraestrutura e das relações entre os seres quando o meio virtual passa a compor o ecossistema. Dispositivos computacionais não estão apenas na categoria tradicional de seres inanimados, ocupam um espaço que ultrapassa a percepção da realidade do mundo físico. A onda tecnológica [113], onde dispositivos especialistas conectados às redes passam a interagir com as pessoas e interferir no espaço físico (onde estes estão inseridos), provocará modificações significativas na realidade em todas as áreas do conhecimento.

Um ecossistema apoiado por computadores é composto por espécies bióticas e abióticas definidas na ciência de ecossistema [28], agregando espécies virtuais como componentes do ecossistema. As espécies virtuais são aquelas que interagem em ambiente digital, não tendo uma representação em três dimensões. Espécies híbridas são especializações de seres abióticos capazes de interagir com as espécies virtuais.

A definição das espécies híbridas é uma abstração da interação entre programas em execução, ou dados persistidos em unidades de armazenamento de informações, com espécies bióticas e abióticas do ambiente. Interfaces de entrada, incluindo sensores, são espécies abióticas que recuperam informações do meio físico e traduzem como sinais eletrônicos para alguma unidade de processamento capaz de transformar esta informação em dados digitais. Por outro lado, as espécies híbridas podem ter o papel de produzir efeitos perceptíveis no ambiente transformando informações digitais em sinais eletrônicos, como por exemplo, acionamento de motores.

Em um ecossistema apoiado por computadores a menor delimitação possível inclui, pelo menos, um ser híbrido e um conjunto de seres virtuais que permitam a interação entre eles por meio de sinais digitais para o compartilhamento de conhecimento. Um ecossistema apoiado por computadores é utilizado para representar interações que envolvam espécies virtuais, as quais interagem com espécies bióticas e abióticas sem capacidade de processamento de dados virtuais.

A proposta de um ecossistema apoiado por computadores é uma maneira de representar a complexidade de ambientes, componentes e relações envolvendo sempre comunicação entre o ambiente virtual e real conforme representado na figura 4.1. Diferentemente dos ecossistemas digitais, em um ecossistema apoiado por computadores seres bióticos não são elementos que geram entradas ou consomem as saídas de dispositivos digitais, mas atuam, assim como os seres abióticos não virtuais, como componentes para a produção de resultados do ecossistema.

Um ecossistema apoiado por computadores apresenta as interações que ocorrem nas delimitações de ecossistemas em que as TICs desempenham papéis relevantes, proporcionando

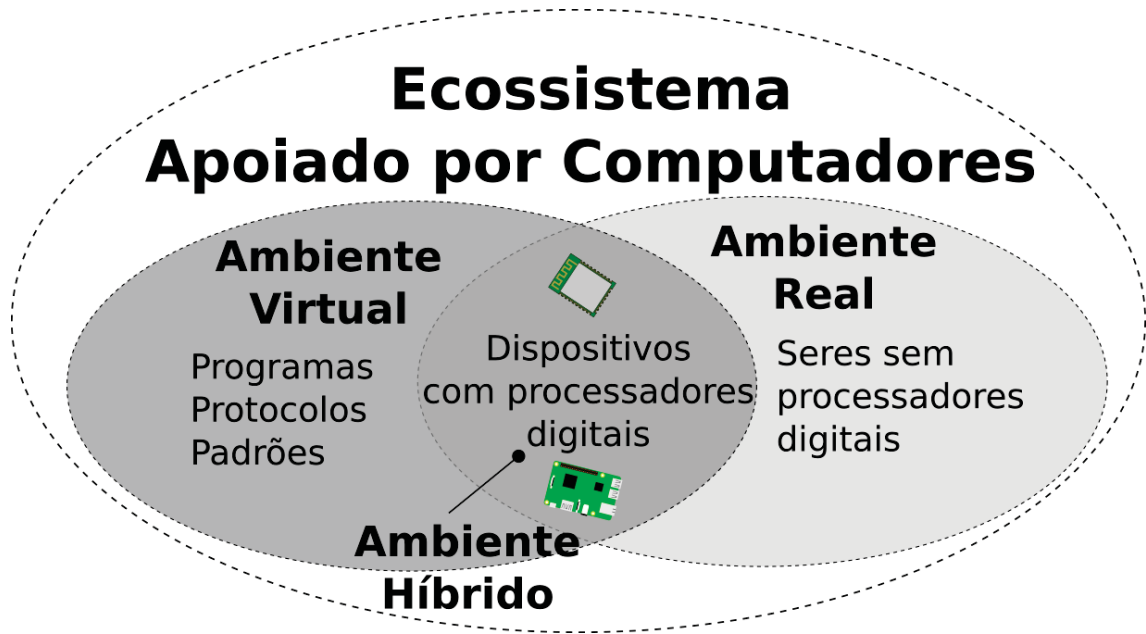


Figura 4.1: Representação de um ecossistema apoiado por computadores, Curitiba, 2020

uma melhoria na percepção do uso de dispositivos de IoT [114]. As perspectivas em relação ao crescimento da presença de dispositivos conectados [115] determina o aprofundamento no entendimento do papel destas tecnologias em diversos ambientes. Os conceitos de ecossistema têm sido apropriados por diversas áreas do conhecimento com representações complexas, oferecendo um arcabouço teórico que contribui com a melhoria da percepção das TICs para apoiar o processo de ensino e aprendizagem.

4.2 ECOSSISTEMA EDUCACIONAL APOIADO POR COMPUTADORES

Ecossistema educacional apoiado por computadores é uma especialização de ecossistema apoiado por computadores, limitado às relações entre espécies que interagem no ambiente de ensino e aprendizagem. A inserção de dispositivos de hardware com capacidade de processamento e troca de dados trouxe novas demandas a serem observadas nos ambientes dedicados à educação. O arcabouço oferecido nos conceitos de ecossistemas é um recurso que colabora com a construção de uma educação ubíqua, sensível ao contexto, contínua e sem imperfeições.

A partir de um modelo de ecossistema educacional apoiado por computadores é possível aplicar uma restrição ambiental para a observação do conjunto das relações, indivíduos e componentes que interagem no processo de ensino e aprendizagem. A concepção de um ambiente educacional, integrado com as ferramentas de TICs, oferece um modelo holístico da inserção de tecnologias para apoiar o ensino e aprendizagem, atribuindo às ferramentas de TICs a mesma importância que as outras espécies que interagem no ambiente educacional [12].

Um ecossistema educacional apoiado por computadores é a representação do conjunto dos sistemas, dispositivos e arquiteturas aplicadas no apoio ao processo de ensino e aprendizagem. A percepção da integração entre o ambiente e os atores que neste atuam, na abordagem de um ecossistema, representa redução do risco decorrente de mudanças. Ao invés da incorporação aleatória de ferramentas, um ecossistema educacional se apoia na identificação de estratégias

de melhoria do processo, com dispositivos que podem solucionar problemas ou incrementar atividades por dispositivos de TIC.

A independência entre os componentes do ecossistema oferece resiliência ao ambiente que pode ser reorganizado para aceitar alterações que ofereçam melhorias, e descartar aquelas que não agreguem valor ao ambiente. No ecossistema educacional apoiado por computadores, pequenas mudanças podem ocorrer continuamente, adequando o ambiente aos avanços tecnológicos. Assim, mudanças passam a ser componente de constante evolução, tanto do ambiente, quanto das espécies que nele atuam.

Diversas propostas foram apresentadas para representar as tecnologias aplicadas ao ensino e aprendizagem apoiado por computadores conforme o desenvolvimento das TICs ao longo do tempo [2]. A representação deste ecossistema educacional proporciona uma evolução dos modelos apresentados por Argawal e Nath [2], conforme apresentado na Figura 4.2. Um ecossistema educacional apoiado por computadores provoca profundas mudanças na representação das TICs na educação, agregando novas funcionalidades aos dispositivos móveis e inserindo SBCs e tecnologias de IoT.

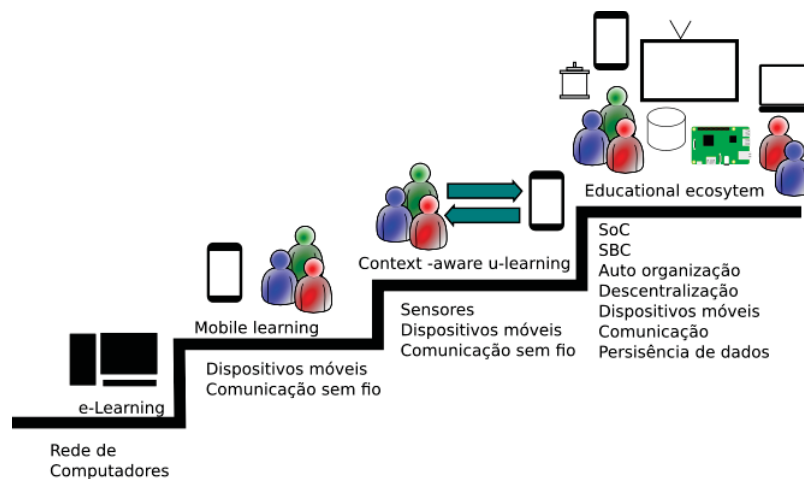


Figura 4.2: Comparação entre modelos de representação (adaptado de [2])

A interação entre espécies abióticas existentes no ambiente educacional é representada por meio de interações mais expressivas em um ecossistema educacional apoiado por computadores. Sensores integrados com dispositivos de rede atuando sobre objetos como mesas, carteiras, fatores ambientais e dispositivos vestíveis, por exemplo, passam a fornecer e consumir informações que enriquecem o conjunto de dados disponíveis. O impacto das novas tecnologias, observadas na ótica de um ecossistema educacional apoiado por computadores, tem potencial de redefinir a sistemática de ensinar e aprender.

4.3 A IMPLEMENTAÇÃO DO ECOSISTEMA EDUCACIONAL APOIADO POR COMPUTADORES

Uma arquitetura computacional apta a suportar um ambiente ubíquo [41, 105], sensível ao contexto e [116, 41] e contínua [50] é materializada em um ecossistema educacional apoiado por computadores. A delimitação de um ecossistema educacional apoiado por computadores não está restrito ao espaço físico da instalação educacional (escola, campus, etc). Dispositivos móveis, sensores e mesmo computadores tradicionais contribuem com a aprendizagem em qualquer momento e em qualquer lugar independente de acesso às redes de computadores.

Um ecossistema educacional modifica o espaço físico da escola, rompendo com as limitações formais de ambientes específicos como salas de aula, áreas de convivência e laboratórios. A diversidade de elementos envolvidos nas atividades de ensino e aprendizagem em um ecossistema educacional promove interação entre qualquer meio digital e físico. Nas delimitações da instalação educacional, a disponibilidade de infraestrutura de rede por componentes do ecossistema é representada por dispositivos que interagem uns com os outros, por meio de uma arquitetura de *fog*, denominada nesta tese por *fog* educacional.

Na delimitação geográfica da instalação educacional podem existir diversas segmentações de rede representadas por *fogs*. Estas delimitações podem ser representadas por salas de aula, auditórios, áreas de lazer, etc. Os diversos *fogs* em uma mesma instalação de ensino permite restringir o acesso dos componentes às atividades adequadas a cada espaço físico.

As espécies híbridas não deixam de compor o ecossistema educacional apoiado por computadores onde esta está inserida, quando não está na instalação educacional. Componentes que contribuem com o processo de ensino e aprendizagem podem receber e enviar conteúdo em redes que não àquelas do *fog* educacional. O meio digital utilizado como meio de comunicação para os componentes do ecossistema pode variar de acordo com o contexto onde está a espécie.

A granularidade trazida pela ciência de ecossistemas [25], aplicada à definição de ecossistema educacional apoiado por computadores, permite representações diversas das TICs no contexto da educação. Todas as espécies híbridas utilizadas no processo de ensino e aprendizagem compreendem uma delimitação de ecossistema educacional. Da mesma forma a interação entre um smartphone do professor com um SBC para apresentação de conteúdo em sala de aula é uma representação de ecossistema educacional. A representação de um conjunto de dispositivos híbridos interagindo em uma instalação educacional é uma delimitação geral que ilustra a infraestrutura provida pelo ecossistema, conforme apresentada na figura 4.3.

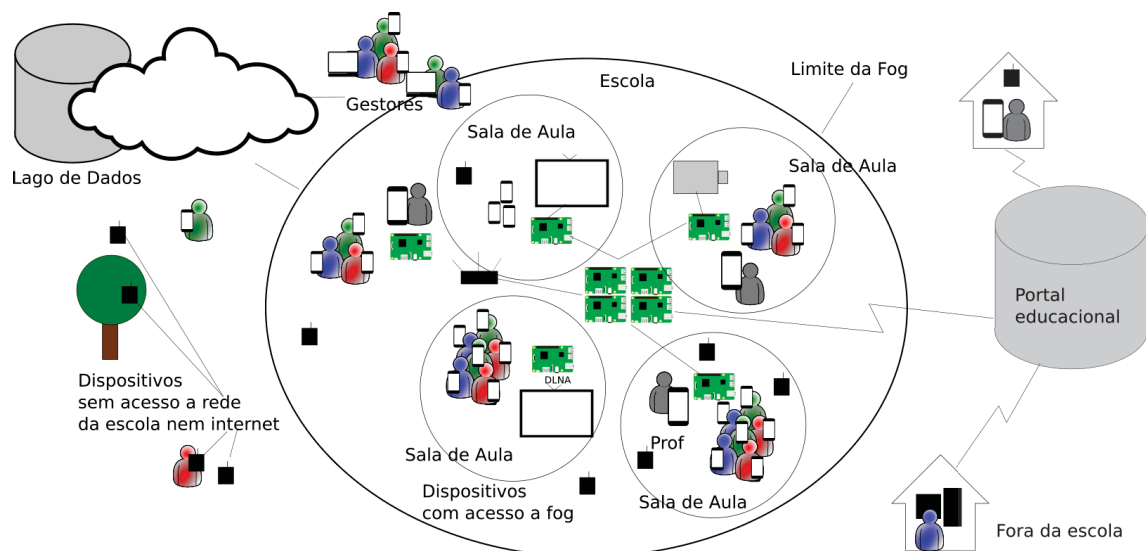


Figura 4.3: Representação da infraestrutura do ecossistema educacional, Curitiba, 2020

Componentes do ecossistema podem perder conectividade por intervalos de tempo indeterminados, coletar informações com espécies externas ao ecossistema e posteriormente compartilhar os dados coletados com as espécies do ecossistema educacional. Um componente pode interagir com diversos outros ecossistemas educacionais apoiados por computadores

compartilhando informações pertinentes a cada um destes ecossistemas. Um portal educacional, por exemplo, pode estar inserido em diversos ecossistemas educacionais simultaneamente.

Os SBCs, no contexto da educação, agregaram as funcionalidades oferecidas por computadores ou laptops com dispositivos móveis e integração com equipamentos eletrônicos que interagem com o mundo real. Neste modelo de uso das TICs os laboratórios de informática são necessários apenas para atividades de ensino de computação. Os computadores, em particular os dispositivos móveis como smartphones e SBCs, passam a ser um componente ativo em sala de aula.

A simplicidade no uso e integração de sensores aumentará a percepção do mundo real, proporcionando conexão entre os objetos, ambiente, professores e o estudante. Sensores ampliam o conceito de ubiquidade, pois proporcionam ferramentas capazes de demonstrar fatores e fenômenos de difícil percepção apenas pelos sentidos humanos, em qualquer lugar e a qualquer momento. A aproximação do mundo real ao virtual facilita experiências de aprendizagem concretas, contextualizando problemas teóricos à realidade perceptível.

Uma infraestrutura com priorização dos dados relativos ao conteúdo educacional no ambiente escolar é um incentivo ao uso intenso de objetos educacionais. A comunicação persistente entre os dispositivos individuais e coletivos favorece a construção do conhecimento por meio de entrega de conteúdo no momento adequado ao aluno. Desta maneira será possível utilizar as informações ambientais e o conteúdo de maneira quase perfeita para a aprendizagem [50].

A implementação de um ecossistema educacional apoiado por computadores consiste no uso de ferramentas de TIC de forma independente e descentralizada para a melhoria do ensino e do aprendizado. A granularidade da representação do ecossistema é arbitrária e apresenta as espécies que interagem na delimitação que se pretende observar. A delimitação do ecossistema educacional apoiado por computadores permite a identificação de lacunas e oportunidades de uso de ferramentas de TIC para a melhoria do ambiente educacional.

4.4 COMPONENTES DE TIC NO ECOSSISTEMA EDUCACIONAL POR COMPUTADORES

Esta tese apresenta recursos computacionais em um ecossistema educacional apoiado por computadores. Dentre as espécies com capacidade computacional os SBCs, smartphones e dispositivos de IoT trazem grande potencial para o uso educacional. A hipótese tratada nesta tese supõe que estes três dispositivos de *hardware* são as ferramentas que viabilizam a concepção do ecossistema proposto.

Os SBCs, smartphones e dispositivos de IoT correspondem, das tecnologias do início da década de 2020, como as mais promissoras a serem experimentadas para o aperfeiçoamento da incorporação das TICs na educação. O uso de padrões abertos permite que outros dispositivos de *hardware* sejam inseridos no contexto de um ecossistema educacional apoiado por computadores para a substituição de qualquer uma das espécies apontadas como as principais referências. Evoluções nas arquiteturas de hardware não invalidam as propostas da representação ou implementação das interações apoiadas por ferramentas de TIC no apoio ao ensino e aprendizagem.

A proposta de inserção de SBCs, smartphones e dispositivos de IoT passa pela identificação de componentes que implementem padrões abertos, realizando tarefas, que somadas, produzam melhorias no processo de ensino e aprendizagem. A funcionalidade destes dispositivos depende de *software*, padrões e conexões que determinem o comportamento dos mesmos no ecossistema proposto. A identificação dos recursos adequados à realização das tarefas e a intera-

ção entre os diferentes componentes, resultam nas funcionalidades esperadas do ecossistema proposto.

Nesta tese, os SBCs são vistos como os componentes centrais na interação entre os diversos componentes que interagem em um ecossistema educacional apoiado por computadores. O uso das capacidades de processamento, e interfaces para troca de dados, foram as características mais exploradas no estudo. A implementação de um modelo de ecossistema está centrada na relação entre os indivíduos que interagem em determinado meio, justificando a relevância de componentes integradores responsáveis pela troca de informações.

O uso de SBCs reduz a complexidade de instalação e manutenção de infraestrutura de rede e integração de componentes nas escolas. Além disso, este tipo de dispositivo permite a substituição de computadores tradicionais reduzindo custos de aquisição e manutenção. O baixo consumo energético deste tipo de dispositivo permite ampliar o uso de computadores em locais com severas restrições de infraestrutura.

Dada a relevância do uso de dispositivos móveis por uma grande parcela dos indivíduos que interagem em um ambiente educacional [98], a inserção deste tipo de recurso é ponto chave em um ecossistema como o proposto nesta tese. A disponibilização de infraestrutura adequada à interação de smartphones nas escolas amplia a possibilidade de uso deste tipo de dispositivos como instrumento de melhoria da qualidade do ensino presencial. A crescente substituição dos computadores de mesa e laptops por smartphones para acesso à internet representa a imediata necessidade de um melhor uso de smartphones nas escolas.

Outra tecnologia emergente são os processadores com limitado poder de processamento em dispositivos, denominada IoT. Os potenciais de uso deste tipo de recurso ainda não estão completamente estabelecidos, mas percebe-se a importância que estes terão em um futuro próximo. O aproveitamento deste tipo de ferramenta na educação pode trazer melhorias no processo de ensino e aprendizagem.

Os dispositivos de IoT em um ecossistema educacional apoiado por computadores são espécies híbridas representadas pelo seu módulo de processamento e interfaces eletrônicas. A implementação específica do componente, que pode ser um dispositivo vestível, um módulo genérico, etc, não é relevante quando este é observado no contexto das interações. Para o contexto do ecossistema importa o recebimento de sinais digitais ou analógicos convertidos para um formato digital ou pela modificação do estado físico observável por espécies bióticas.

A interação profunda entre os seres bióticos e abióticos e o meio virtual é o objetivo dos sensores em um ecossistema educacional. Enquanto os sensores embarcados em smartphones e dispositivos vestíveis produzem informações individuais de um ser biótico individual, os sensores e motores integrados com módulos de IoT permitem a recuperação de informações mais precisas de um ambiente específico e promove alterações reais neste ambiente como, por exemplo, aumentar ou diminuir a potência de lâmpadas para melhorar a luminosidade de uma sala de aula.

O uso de smartphones já é uma realidade e as tendências de uso da IoT nas escolas apresentam grandes potenciais de uso. Assim sendo, é natural apontar que estas tecnologias devam ser exploradas como as espécies híbridas mais relevantes a serem examinadas em um ecossistema educacional apoiado por computadores. Os SBCs, neste contexto, representam o mecanismo orquestrador entre os smartphones, dispositivos de IoT e as demais espécies do ecossistema.

Smartphones, SBCs e dispositivos de IoT são os componentes de *hardware* básicos para um ecossistema educacional apoiado por computadores. A interação entre estes componentes e o ambiente depende de um conjunto de recursos que facilitam que estes dispositivos possam

realizar as tarefas demandadas pelo ecossistema educacional. A identificação destes recursos e validação de suas funcionalidades são os norteadores de um ecossistema educacional.

4.5 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Um ecossistema educacional apoiado por computadores é uma representação decorrente da necessidade de compreender a inserção das TICs nas escolas de forma integrada. A maior integração entre o ambiente real e virtual apoiado nos recursos advindos da IoT, dispositivos móveis e SBCs demanda por uma visão integrada das interações entre as espécies inseridas no processo de ensino e aprendizagem. A delimitação das espécies e a apresentação das fronteiras do ecossistema, apresentadas neste capítulo, acrescentam artefatos para a representação mais precisa de ecossistemas no contexto do uso das TICs para o apoio à educação.

Os dispositivos de *hardware* identificados como ferramentas para a promoção de profundas transformações no uso das TICs no ensino e aprendizagem, neste início de década de 2020, tem seu uso potencializado em um ecossistema educacional apoiado por computadores. Vistos como dispositivos independentes SBCs, smartphones e dispositivos de IoT integram o ambiente educacional como simples substitutos de outras tecnologias, com algumas funcionalidades adicionadas. Atuando de forma integrada os resultados obtidos por cada um destes dispositivos agregam funcionalidade uns aos outros, permitindo resultados impossíveis de serem atingidos sem esta integração.

5 FERRAMENTAS DE TICS EMERGENTES EM UM ECOSISTEMA EDUCACIONAL APOIADO POR COMPUTADORES

Neste capítulo são apresentadas com detalhes as espécies híbridas, virtuais e padrões identificados adequados à implementação de um ecossistema educacional no início da década de 2020. Os componentes aqui explicitados são aqueles que apresentam soluções para o melhoramento do uso das TICs para o atendimento de várias das lacunas identificadas para o uso mais adequado de computadores na melhoria do processo de ensino e aprendizagem. Cada um dos componentes apresentados interagindo uns com os outros viabilizam a implementação de um ecossistema educacional apoiado por computadores.

O atendimento aos requisitos enunciados no capítulo 3 passa por uma infraestrutura adequada à comunicação entre as espécies, implementada de forma segura, interoperável, independente de infraestrutura prévia, atuando de forma autônoma e inclusiva. Uma implementação aderente aos requisitos de redução das desigualdades, integração, interoperabilidade, ubiquidade sensível ao contexto, provimento de infraestrutura para apoio às práticas didáticas, empoderamento dos atores, autonomia dos componentes e agregação de segurança da informação resulta da capacidade das espécies virtuais e híbridas proverem funcionalidades de fornecimento de rede de comunicação, criptografia de dados, identificação de espécies especializadas em determinadas tarefas entre outras. Em um ecossistema educacional apoiado por computadores, a atuação conjunta entre diferentes espécies é capaz de oferecer as soluções para sua implementação.

O entendimento sobre como cada uma das espécies oferece recursos para a realização das tarefas depende do conhecimento das capacidades e limitações providas pelas tecnologias por elas implementadas. Em um ecossistema educacional apoiado por computadores são apresentadas configurações particulares e a priorização de determinadas características de recursos em detrimento de outros. Conhecimentos sobre as funcionalidades implementadas por algumas das ferramentas proporcionam informações necessárias para o entendimento da implementação apresentada no capítulo 6.

Convém destacar que as tecnologias apresentadas neste capítulo são dispositivos que ganharam notoriedade e popularidade a partir da década de 2010. As ferramentas selecionadas ilustram a adequação de um ecossistema educacional apoiado por computadores com dispositivos emergentes sem dependência de dispositivos de TICs específicos. Novas ferramentas decorrentes da evolução tecnológica, alinhadas com os requisitos de um ecossistema educacional apoiado por computadores, devem ser consideradas como opções para a evolução do ecossistema.

5.1 DISPOSITIVOS EMERGENTES EM UM ECOSISTEMA EDUCACIONAL APOIADO POR COMPUTADORES

A melhoria no uso de ferramentas de TIC no apoio ao processo de ensino e aprendizagem passa pela identificação de dispositivos de *hardware* com os quais se consiga obter maior desempenho com o menor custo. Neste sentido não basta a adoção das ferramentas com destaque no mundo do trabalho e do entretenimento que não estão necessariamente alinhadas com o contexto da educação. Por outro lado o desenvolvimento de dispositivos voltados para o uso de demandas pontuais das escolas costuma trazer custos extras de produção e distribuição destes.

Os recursos de *hardware* em um ecossistema educacional apoiado por computadores não excluem os dispositivos tradicionais ou aqueles adotados em programas de inclusão digital. Estas ferramentas podem ser aproveitadas como componentes do ecossistema, podendo representar

papéis dos SBCs ou dispositivos móveis em diversas tarefas. Computadores tradicionais existentes nas escolas devem ser utilizados como componentes do ecossistema, no entanto, a aquisição de novos equipamentos possivelmente apresentará SBCs ou smartphones capazes de realizar as atividades demandadas com igual ou superior desempenho.

5.1.1 Single Board Computers (SBCs)

A identificação de computadores baseados na arquitetura SBC, para esta pesquisa, considerou o custo e a capacidade computacional dos mesmos e a possibilidade de alteração em seus componentes para atendimento de questões específicas aos aspectos educacionais. Atualmente existem centenas de projetos de computadores de baixo custo sendo produzidos, além de muitos outros em fase de definição [81] capazes de realizar diversas tarefas tradicionalmente atribuídas a desktops e laptops. O uso de imagens, arquivo contendo todos os *software* e configurações de uma instalação, destinadas ao uso dos SBCs no uso educacional são capazes de abstrair as complexidades de instalação.

Em um ecossistema educacional apoiado por computadores SBCs suprem principalmente as atividades apresentadas na tabela 5.1:

Atividade	Descrição
Atuar como ponto de acesso Wi-Fi sempre que necessário	SBCs podem ser configurados para fornecer a infraestrutura da rede sem fio, eliminando a necessidade do uso de roteadores. Esta funcionalidade permite que se crie um <i>fog</i> específico para cada disciplina ou sala de aula.
Fornecer integração com dispositivos de áudio e vídeo	As interfaces de vídeo e áudio do SBC podem ser conectadas com os dispositivos de saída como monitores, aparelhos de TV e projetores. Esta funcionalidade permite o uso de uma única interface para diferentes saídas
Promover a integração entre dispositivos móveis e o <i>fog</i>	Os SBCs podem executar diversos serviços para apoiar a conectividade em redes com ou sem fio. Os dispositivos do professor e estudantes podem receber e enviar informações para diversos recursos da <i>fog</i> de forma controlada.
Promover a integração entre dispositivos de IoT e o <i>fog</i>	Além das interfaces de rede os SBCs podem estabelecer conexão com interfaces USB ou com pinos que enviam e recebem pulsos elétricos disponíveis na placa do SBC.
Persistir objetos educacionais para uso nas aulas	Além dos dispositivos de armazenamento do sistema operacional, geralmente cartões SD, a tecnologia USB suporta a conectividade com discos externos que amplia a capacidade de persistência de grande quantidade de informações.
Atuar como opção de substituição de computadores tradicionais para a produção e consumo de conteúdo	Com a conexão de teclado, mouse e interface de vídeo, podendo ser até mesmo antigos monitores VGA por meio de um adaptador, SBCs são capazes de executar programas aplicativos como navegadores, editores de texto, planilhas eletrônicas, etc, com desempenho similar aos computadores tradicionais.
Atuar como servidor de serviços	Servidores web e sistemas de banco de dados podem ser instalados nos SBCs permitindo compartilhamento, coleta e armazenamento de dados sem a necessidade de acesso a recursos externos ao <i>fog</i> .
Prover a infraestrutura de segurança	A emissão e gerenciamento de certificados podem ser feitos utilizando SBCs. É possível constituir toda infraestrutura de chaves públicas utilizando apenas este tipo de recurso de <i>hardware</i> .

Tabela 5.1: Principais tarefas providas por SBCs. Curitiba, 2002

Durante experimentos realizados com diferentes modelos de SBCs, para a identificação dos produtos de *hardware* mais adequados ao atendimento dos requisitos, foram observadas necessidades de adequações em componentes de *software* específicas para cada placa. Para

facilitar a replicação dos experimentos, e as implementações, foram realizadas prioritariamente em produtos de um fornecedor específico. A família de produtos Raspberry apresentam diversidade de implementações para a exploração o uso das capacidades dos dispositivos utilizando arquiteturas semelhantes.

Um desafio da experimentação de diferentes fornecedores é a implementação de arquiteturas de *hardware* que demandam por *drives* e configurações específicas. Para o escopo deste estudo a realização de configuração de diferentes componentes de *hardware* e implementações de sistemas operacionais ofereceria uma carga de trabalho que limitaria o aprofundamento no estudo das funcionalidades. As implementações resultantes desta tese podem ser utilizadas em diferentes modelos de SBC, sem a necessidade de ajustes.

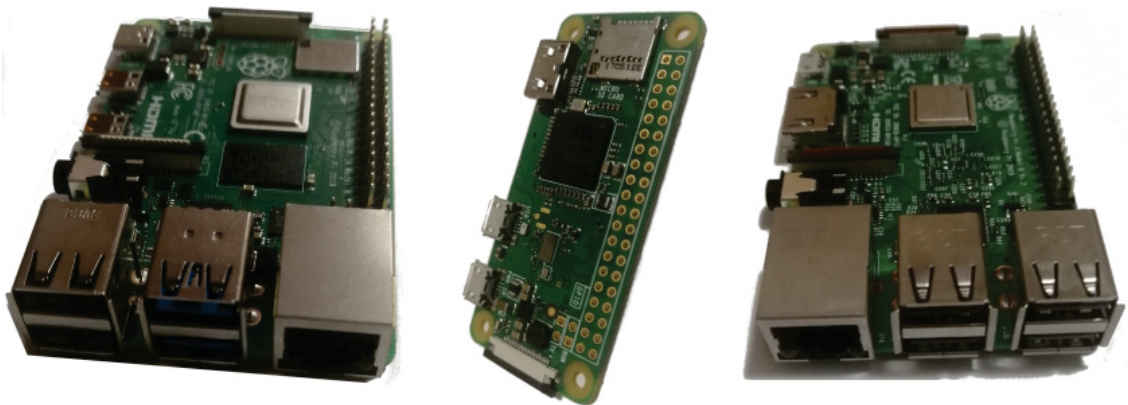


Figura 5.1: SBCs avaliadas na pesquisa: Rapberry Pi Zero W; Raspberry Pi V3; Raspberry Pi V4, Curitiba, 2018

O principal componente que demanda por configurações especiais são os *software* que têm interação direta com as interfaces de rede. Uma das maiores dificuldades é o ajuste fino para a exposição de redes sem fio entre os diferentes SBCs. Experimentos constataram que o uso de placas de rede Wi-Fi embarcadas em diferentes modelos de SBCs tem comportamento que variam para as mesmas configurações.

Durante a exploração de capacidades dos dispositivos nesta pesquisa foram investigadas as especificações técnicas da arquitetura fornecida pelos fabricantes, preços praticados, possibilidade de fabricação nacional do projeto entre outros aspectos levantados durante a prospecção dos equipamentos. De posse destas informações foram gerados quadros comparativos para dar suporte às decisões de implementação destes tipos de dispositivos em um ecossistema educacional apoiado por computadores, apresentados na tabela 5.2.

Os SBCs investigados que não contam com placa Wi-Fi podem receber adaptadores USB para contornar esta limitação. Adaptadores Wi-Fi USB são componentes com baixo custo de aquisição e, em geral, são suportados nativamente nas distribuições Linux compiladas para processadores ARM utilizados em todos os SBCs avaliados nesta pesquisa. No entanto SBCs que contém chips para acesso às redes sem fio simplificam a configuração e trazem padronização para a implementação.

Para identificar a facilidade de aquisição das placas SBC foram realizadas buscas em sistemas de vendas on line. Os sites de comércio eletrônico eBay e o Mercado Livre foram escolhidos como referência para a identificação da disponibilidade dos equipamentos internacionalmente e no Brasil. Os critérios de busca utilizaram os filtros Eletrônicos, Áudio e

Modelo	Pontos Forte	Pontos Fracos
Raspberry Pi Zero W	Tamanho reduzido; 40 pinos GPIO; durabilidade; farta documentação; placa de rede Wi-Fi e <i>bluetooth</i> na placa; muitos fornecedores	Apenas 512 Mb de memória ram; pouco poder de processamento; poucas interfaces usb; conector mini-HDMI; <i>hardware</i> fechado.
Raspberry Pi V3	Farta documentação; durabilidade do processador; 4 interfaces USB; interface ethernet; placa de rede Wi-Fi e <i>bluetooth</i> na placa; muitos fornecedores	Apenas 1GB de memória ram; <i>hardware</i> fechado
Banana Pi M64	3 interfaces USB; interface ethernet; placa de rede Wi-Fi e <i>bluetooth</i> na placa; <i>hardware</i> aberto; uso de memória de armazenamento interna; 2GB de memória RAM	Processador conhecido pela baixa durabilidade; preço elevado; limitada documentação; poucos fornecedores.
Orange Pi 3	4 interfaces USB 3.0; interface ethernet; placa de rede Wi-Fi e <i>bluetooth</i> na placa 2GB de memória RAM	Processador conhecido pela baixa durabilidade; preço elevado; limitada documentação; poucos fornecedores; 26 pinos GPIO.
Pine A64	Baixo custo de aquisição; várias interfaces de expansão; 2 interfaces USB	Sem Wi-fi e bluetooth na placa mãe; dimensões muito grandes; poucos fornecedores.
Rock64	Baixo custo de aquisição; até 4GB de memória ram; interface ethernet; 3 interfaces USB; 52 pinos GPIO	Sem Wi-Fi e <i>bluetooth</i> na placa; poucos fornecedores.

Tabela 5.2: Características de SBCs utilizados nos testes. Curitiba, 2002

Modelo	Critério Consulta	Total ML	Total eBay
Raspberry Pi Zero W	Raspberry pi Zero W	798	27
Raspberry Pi V3	Raspberry pi 3	12.252	2.253
Banana Pi M64	Banana pi m3	38	72
Orange Pi 3	Orange Pi 3	128	45
Pine A64	Pine	187	126
Rock64	Rock	165	12

Tabela 5.3: Características de SBCs utilizados nos testes, consulta realizada em 22/01/2020.

Vídeo, Peças e Componentes Elétricos para o Mercado Livre e Computadores/tablets e redes no eBay conforme tabela 5.3.

Todas as placas SBC são capazes de realizar parcialmente as tarefas de infraestrutura demandadas para comporem a infraestrutura de *hardware* de um ecossistema educacional apoiado por computadores. O funcionamento da interface de redes Wi-fi é uma operação crítica e foram identificadas algumas dificuldades na implementação de alguns dos dispositivos testados. Várias configurações de ajustes foram efetuadas nos *software* de controle das interfaces para tentativas de correção de algumas instabilidades.

A maior estabilidade no atendimento às necessidades de rede sem fio do projeto foi encontrada nos dispositivos Raspberry Pi. Para os dispositivos que não contavam com placas Wi-fi embarcadas foram conectados dispositivos USB para as tarefas de rede sem fio. Dada a importância deste tipo de conexão na pesquisa, os experimentos foram realizados priorizando os modelos Raspberry Pi versão 3, Raspberry Pi versão 4 e Raspberry Pi versão Zero W.

Para facilitar o acesso ao ecossistema os componentes que oferecem serviços para outros componentes devem fornecer informações relativas à sua disponibilidade na rede. A exposição das informações pode ser feita por meio de protocolos e padrões criados para estas funcionalidades. O uso de padrões populares de notificação agrega interoperabilidade aos componentes de um ecossistema educacional apoiado por computadores.

O padrão 802.11 disponibiliza de informações do ponto de acesso que é informado por um identificador denominado *service set identifier*, SSID. Um SBC que atua como ponto de acesso em um ecossistema educacional dispõe as informações de acesso à rede sem fio que implementa padrões de segurança para garantir que apenas dispositivos autorizados possam utilizar a rede. Os serviços de acesso à rede sem fio quase não demanda por capacidade de processamento e memória.

Dentre as funcionalidades de integração utilizando SBCs teve significativo destaque as configuração dos dispositivo como ponto de acesso para redes Wi-Fi. Nos experimentos realizados foi possível gerenciar mais de 40 conexões simultâneas com a eficiência necessária para o sistema. O baixo uso do processador e da memória permite que o SBC realize outras tarefas pertinentes ao processo de ensino e aprendizagem apoiado por computadores.

Conectado com a rede ethernet ou inserindo outra placa Wi-fi na porta USB é possível utilizar o SBC para acessar ou prover acesso de dispositivos conectados à rede Wi-fi com outras redes. Mesmo com dispositivos de poucos recursos computacionais como o Raspberry Pi Zero W é possível implementar as funcionalidades demandadas pelo professor em um ecossistema educacional. Funcionalidades capazes de serem implementadas no Zero W, do ponto de vista da capacidade computacional, podem ser implementadas em qualquer uma das outras placas testadas neste estudo.

A interface *bluetooth* não foi explorada intensamente nas funcionalidades implementadas, mas experimentos demonstraram funcionamento adequado para projetos que demandem deste

recurso. Esta característica pode ser utilizada em experimentos de integração com componentes que utilizem esta forma de comunicação.

As interfaces GPIO foram utilizadas para a seleção da interface de vídeo para a apresentação de recursos multimídia. O acesso aos sinais digitais da interface GPIO pode ser implementado por meio de bibliotecas acionadas por *script* Python. Os pinos GPIO podem ser utilizados para a gestão do próprio dispositivo e aplicados a estudo de robótica ou eletrônica.

Todos os SBCs de referência selecionados para este estudo possuem reduzidas dimensões, com facilidade de transporte. O Raspberry Pi Zero W é o menor entre os três, mas apresenta várias limitações relacionadas às interfaces de comunicação e capacidade computacional. Por outro lado, o Zero W é capaz de realizar muitas das tarefas demandadas ao SBC com um custo de aquisição muito menor que os outros dispositivos.

5.1.2 Dispositivos móveis

O uso individual de computadores por estudantes de forma ampla foi experimentado em diversos projetos com laptops e dispositivos assemelhados [11, 58]. O desenvolvimento das ferramentas de computação de uso individual, no entanto, ficou mais popular em dispositivos móveis. Inicialmente tablets foram vistos como o tipo de dispositivo mais adequado ao uso educacional no contexto do uso individual de computadores como opção aos laptops. No entanto o surgimento de smartphones com telas maiores ocupam o lugar dos tablets como opção de dispositivo móvel, promovendo uma certa obsolescência prematura dos tablets.

A adoção de fornecedores específicos ou de arquiteturas únicas para projetos educacionais usando computadores individuais, mesmo em projetos abertos, pode ser um limitador para acompanhar a evolução das tecnologias. Projetos baseados em dispositivos com arquiteturas específicas foram tentadas em vários projetos para a ampliação do uso de computadores nas escolas, [10, 55, 58] mas não foram capazes de acompanhar as evoluções das ferramentas de TIC. O novo modelo de inserção de TICs na escola preconiza que diferentes tipos de dispositivos trazidos por estudantes e professores passem a incorporar o parque de dispositivos de TICs na escola.

Smartphones foram adotados como o principal dispositivo com capacidade de processamento de informações e conectividades pelas pessoas. Apesar da hegemonia deste tipo de dispositivos como ferramenta computacional móvel, apostar apenas nesta tecnologia como ferramenta capaz de promover melhorias contínuas na educação resultará, possivelmente, nas mesmas falhas que tentativas com outras tecnologias. Por outro lado, a observância a padrões de interoperabilidade e a integração com outros componentes pode promover a longevidade no uso de smartphones na melhoria de educação.

Smartphones em um ecossistema educacional tem suas principais funcionalidades apresentadas na tabela 5.4:

Atividade	Descrição
Produção de conteúdo	Com aplicativos para o apoio às práticas pedagógicas do professor é possível identificar e persistir recursos educacionais em qualquer lugar e a qualquer momento para posterior uso na apresentação das aulas. Estudantes também podem utilizar funcionalidades dos dispositivos para recolher dados com os sensores do smartphone e compartilhar durante as aulas
Consumo de conteúdo	Acessar sites e portais educacionais ou utilizar aplicativos integrados para o recebimento de recursos educacionais

Integração entre o <i>fog</i> e outras redes	Conteúdos persistidos em smartphones podem ser transferidos para o <i>fog</i> e vice versa. Desta maneira, mesmo que a infraestrutura da escola não acesse outras redes externas, smartphones podem atuar como dispositivos de troca de dados com a internet, por exemplo.
Comunicação com o SBC	Por meio de redes sem fio o smartphone pode trocar dados com o SBC como dispositivo de entrada e saída de dados. Durante atividades na instituição de ensino, as atividades colaborativas ou a exposição de conteúdo podem ser melhoradas com complemento de informações apresentadas no dispositivo de saída do professor, com o envio de informações mais detalhadas para o dispositivo do estudante simultaneamente.
Comunicação com dispositivos de IoT	A infraestrutura do <i>fog</i> permite que dados obtidos por sensores sejam enviados para os dispositivos dos estudantes. Uma experiência realizada por grupos distintos em sala de aula utilizando sensores pode compartilhar os dados dos diferentes grupos em tempo real.

Tabela 5.4: Principais tarefas providas por smartphones. Curitiba, 2020

A arquitetura de *hardware* de smartphones é definida pelas necessidades de uso em diversos contextos diferentes daqueles demandados pelas necessidades educacionais. São componentes com numerosos fornecedores que lançam modelos novos diversas vezes por ano, e que são consumidos em grande quantidade, conforme a tabela 5.5. Este tipo de dispositivo evolui rapidamente, incorporando novas funcionalidades em curtos intervalos de tempo.

Fabricante	Unidades *1000	% Total
Samsung	296.194,0	19,2
Huawei	240.615,5	15,6
Apple	193.475,1	12,6
Xiaomi	126.049,2	8,2
OPPO	118.693,2	7,7
Outros	565.630,0	36,7
Total	1.540.657,0	100

Tabela 5.5: Vendas de smartphones em 2018, Curitiba, 2020. Fonte: [5]

Durante as fases iniciais do projeto, experimentos buscaram o desenvolvimento de um modelo de smartphones a partir de SBCs. Apesar de resultados positivos na tentativa de produção de dispositivos capazes de oferecer funcionalidades extras, como interface GPIO, as melhorias implementadas elevariam os custos de produção. As vantagens obtidas pelo desenvolvimento de um dispositivo semelhante à smartphones podem ser atingidas por meio de implementações realizadas nos SBCs, mas a grande variedade de produtos disponíveis no mercado não justifica o esforço de desenho e implementação de um dispositivo com estas características.

Smartphones oferecem uma interface entre as pessoas e os recursos computacionais disponibilizados pelos outros componentes do ecossistema educacional apoiado por computadores. Quase todos os modelos dos smartphones de nova geração contêm diversos sensores e dispositivos que permitem a obtenção de informações do mundo real para inserções no meio digital do ecossistema. Apesar de não investirem em recursos focados no uso educacional, smartphones costumam favorecer grande integração e interoperabilidade nas facilidades que estes implementam.

O custo de aquisição, quando não acessível por parte da população, pode ser viabilizado por meio de ações do poder público ou de organizações não governamentais o que viabiliza a inserção deste tipo de dispositivo até mesmo em comunidades carentes. A existência de grande variedade deste tipo de dispositivos e a observância a padrões dos seus principais fornecedores transformam os smartphones em componentes facilmente integráveis ao ecossistema educacional.

5.1.3 Dispositivos de IoT

Ferramentas de IoT são dispositivos de *hardware* promissores para a melhoria do processo de ensino e aprendizagem. Diversos dispositivos para diferentes fins devem surgir, em um futuro próximo, para promover uma maior interação entre o ambiente e as pessoas. Módulos simples com sensores podem ser implementados para o aprofundamento dos conhecimentos, aperfeiçoando tecnologias obsoletas ou construindo novas soluções. As atribuições dos dispositivos de IoT em um ecossistema educacional apoiado por computadores são apontados na tabela 5.6

Atividade	Descrição
Coletar informações ambientais	A coleta de fatores ambientais como níveis de ruído, luminosidade, temperatura, etc durante as atividades em sala de aula podem ser armazenadas para a geração de bases de dados para análise ou avaliações em tempo real.
Apoiar experimentos	Sensores podem capturar e enviar dados para o aprimoramento de experiências, como por exemplo, a avaliação da influência de temperatura e pressão em fenômenos físicos e químicos. Existe uma grande quantidade de sensores de baixo custo, para diversos tipos de medições, que podem ser utilizados externamente à instituição de ensino para enriquecer o conhecimento dos estudantes.
Recuperação de dados dos estudantes e professores	Dispositivos vestíveis permitem capturar informações úteis em aulas de educação física, por exemplo. Recursos com medidor de batimento cardíaco, temperatura corporal, oxigenação do sangue também podem ser utilizados para apoiar disciplinas relacionadas aos fenômenos biológicos e de saúde.

Tabela 5.6: Funcionalidades de dispositivos de IoT em um ecossistema educacional. Curitiba, 2002

Os dispositivos ESP8266 e ESP32 são módulos que contém um SoC com implementações de interface de rede, desenvolvidos para ser a melhor escolha para implementações de IoT [117, 118]. A tecnologia fundamentada em conexões sem fio e microcontrolador capaz de processar os protocolos de rede com bom desempenho aliados a baixo consumo energético [117] e reduzido custo de aquisição são diferenciais dos módulos ESP8266 e ESP32. A família destes dispositivos foi lançada em 2014 com um módulo menos sofisticado denominado ESP-01.

Existe farta documentação e bibliotecas para apoiar o desenvolvimento de programas para os SoCs ESP8266 e ESP32, incluindo soluções para implementação de integração com diversos sensores e kits para Arduino. Ambos os módulos implementam, em seu barramento GPIO, interfaces digitais e analógicas que permitem interação com uma infinidade de recursos eletrônicos. Os módulos de desenvolvimento NodeMCU são interfaces que facilitam o uso dos SoCs ESP8266 e ESP32 para a construção de protótipos e realização de experiências.

Entre os pontos de maior destaque é a capacidade adequada de processamento e armazenamento interno dos módulos ESP8266 e ESP32 às demandas de automação e conexão com sensores utilizados no apoio ao ensino. As dimensões e baixo consumo energético são outros pontos fortes destes módulos, permitindo sua aplicação inclusive em dispositivos vestíveis. A tabela 5.7 apresenta algumas das características dos módulos ESP8266 e ESP32.

Característica	ESP32	ESP8266
Núcleos	2	1
Velocidade da CPU	240 MHz	160 MHz
Pinos GPIO	42	42
Memória ROM	128 KB	50KB
Memória SRAM	320 KB	50KB
Memória não volátil	2MB	2MB
Tensão	3 3,6V	2,7V 3,6V
Dimensão	18x31x3,3 mm	18x14,3x3,2mm
Wi-Fi	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n

Tabela 5.7: Características dos módulos ESP-WROOM-02 e ESP32-S2-WROVER, Curitiba, 2020. Fonte: [6, 7]

Os módulos ESP8266 e ESP32 são dispositivos adequados para o uso dos princípios da IoT em um ecossistema educacional apoiado por computadores. É possível a utilização destes módulos para o suporte as atividades didáticas, de automação e mesmo como opção aos módulos Arduino para disciplinas de ensino de eletrônica, robótica e programação de computadores.

A opção do uso dos módulos ESP8266 e ESP32 decorre da escassez de outras ferramentas que agreguem as funcionalidades disponibilizadas por estes módulos no início da década de 2020. No entanto, a implementação dos aplicativos utilizando a linguagem C e disponibilização do código fonte permitirá que, quando surgirem tecnologias de outros fornecedores com integração com redes Wi-Fi e capacidade de processamento e armazenamento semelhantes a estes módulos estes aplicativos poderão ser migrados para estes possíveis novos recursos.

5.2 PADRÕES E PROTOCOLOS PARA UM ECOSSISTEMA EDUCACIONAL

A implementação de soluções baseadas em padrões técnicos definidos por grandes institutos internacionais como ISO, IEC, ITU entre outros, permitem interoperabilidade entre diferentes dispositivos e recursos de *software*. Em um ecossistema educacional apoiado por computadores novos recursos tem que ser inseridos no ambiente sem a necessidade de alterações nos recursos existentes que interagem uns com os outros. Padrões, como os apresentados na tabela 5.8, reduzem a complexidade de implementação da interoperabilidade em um ecossistema educacional.

Os padrões de troca de dados, acordados por grupos que desenvolvem componentes, são adotados pelos fornecedores de produtos de software e hardware. A adoção de padrões definidos por instituições renomadas oferece garantia de implementações interoperáveis, funcionais e previamente utilizada e testada. A adoção de padrões foi o que tornou viável a capacidade de comunicação que existe atualmente.

Existem vários padrões abertos utilizados pelos sistemas que interoperam em redes. Alguns padrões tem particular destaque para a proposta de ecossistema educacional apoiado por computadores apresentada nesta tese. A tabela 5.8 apresenta alguns padrões notáveis apresentados nas implementações propostas para um ecossistema educacional apoiado por computadores.

Padrão	Referência	Ano
X.509	ISO/IEC 9594-8	1988
802.11	IEEE Std 802	1990
MQTT	ISO/IEC 20922:2016	2016
JSON	IETF RFC 4627	2006
DNS-SD	IETF RFC 6763	2006

Tabela 5.8: Longevidade de padrões para conectividade.

5.2.1 Redes sem Fio

A interoperabilidade entre os diferentes equipamentos que integram o *fog* educacional faz uso intenso de conexões sem fio. A principal especificação de implementação deste tipo de rede é o 802.11, que é atualmente quase hegemônico nas arquiteturas de rede sem fio com restrições geográficas de acesso. A interação com as funcionalidades básicas de acesso a este tipo de rede é um conhecimento dominado pelos usuários de dispositivos móveis.

O padrão 802.11 é utilizado na grande maioria das redes sem fio em ambientes com acesso controlado por dispositivos móveis. Esta tecnologia apresenta a possibilidade de diferentes configurações e é implementada nas interfaces de rede sem fio Wi-fi em todos os dispositivos. Integração com dispositivos móveis é um requisito importante a ser atendido em um ecossistema educacional apoiado por computadores. O uso de um padrão amplamente utilizado como o 802.11 traz formas de uso conhecidas dos usuários deste tipo de tecnologia, reduzindo a curva de aprendizagem na inserção de novos dispositivos. Os usuários de smartphones, por exemplo, tem noção da necessidade de conexão com pontos de acesso para iniciar a interação com a rede. Desta maneira, um dispositivo que ofereça uma interface para a identificação de pontos de acesso e entrada de senhas possivelmente será facilmente compreendida por usuários com conhecimentos limitados nas tecnologias de redes.

5.2.2 O padrão JSON

Originário da linguagem Javascript, quase todas as linguagens de programação contam com ferramentas para interpretação do formato. O padrão é simples de implementar e permite a leitura do conteúdo por humanos, sem a necessidade de ferramentas de tradução. O JSON é um formato adequado à representação de dados semiestruturados e existem inclusive implementações de bancos de dados que utilizam o formato como, por exemplo, o MongoDB.

Dada sua grande interoperabilidade, o padrão JSON pode ser utilizado como principal formato de transmissão de dados em um ecossistema educacional. Apesar de suportar apenas formato texto é possível utilizar dados binários convertidos em formato base 64 para o atendimento desta lacuna no formato. Nem todas as necessidades de transmissão de dados do ecossistema são atendidas adequadamente pelo padrão JSON, mas este formato garante interoperabilidade e simplifica a implementação.

A adoção do padrão JSON, sempre que possível, não é notada pelo usuário final mas pelo desenvolvedor de soluções de software. Em um ecossistema educacional apoiado por computadores a adoção deste padrão permite, em particular, a integração com servidores de serviços utilizados em diversas ferramentas como, por exemplo, portais educacionais. Mesmo em serviços e sistemas que não tragam o padrão JSON nativamente recomenda-se que sejam utilizados interpretadores do formato nativo para JSON nas interações com os recursos do ecossistema.

5.2.3 Serviços de mensagem

O MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*) é um protocolo desenvolvido originalmente para redes com recursos limitados [119]. Consiste em servidores que concentram todos os recebimentos e envio de mensagens, denominados brokers, e clientes a ele conectados utilizando o protocolo TCP/IP. O broker atua como intermediário para a troca de mensagens entre os clientes, podendo persistir as informações para serem consumidas no futuro ou apenas encaminhar aos dispositivos conectados.

O MQTT utiliza o modelo *publish/subscribe* com baixo *overhead* de rede e baixo consumo energético. O protocolo atende ao conceito de interoperabilidade, pois, conta com implementações para diversas arquiteturas de processadores e microcontroladores [120]. O MQTT é uma solução adequada às demandas de interoperabilidade de dispositivos de IoT [121, 122]. Em um ecossistema educacional apoiado por computadores a adoção de um serviço de mensageria reduz a complexidade de implementação de protocolos de rede.

Entre as implementações de *broker* MQTT está o Mosquitto [120], sistema distribuído utilizando licença livre e compatível com vários sistemas operacionais e processadores. A implementação Mosquitto foi feita em linguagem C++ e conta com um modelo de autenticação e autorização utilizando o conceito de plugin, que dá grande flexibilidade para experimentos de diversas tecnologias. Existem vários experimentos para diferentes usos do Mosquitto que demonstram a versatilidade e a estabilidade da implementação [120].

O crescente uso de serviços de notificação em smartphones, popularizou o envio de mensagens utilizando a estratégia *push*. Esta modalidade de notificação mantém o dispositivo *online* em determinados ciclos de comunicação em que o servidor realiza a troca de mensagens. Este método oferece uma estratégia mais eficiente de consumo energético [119].

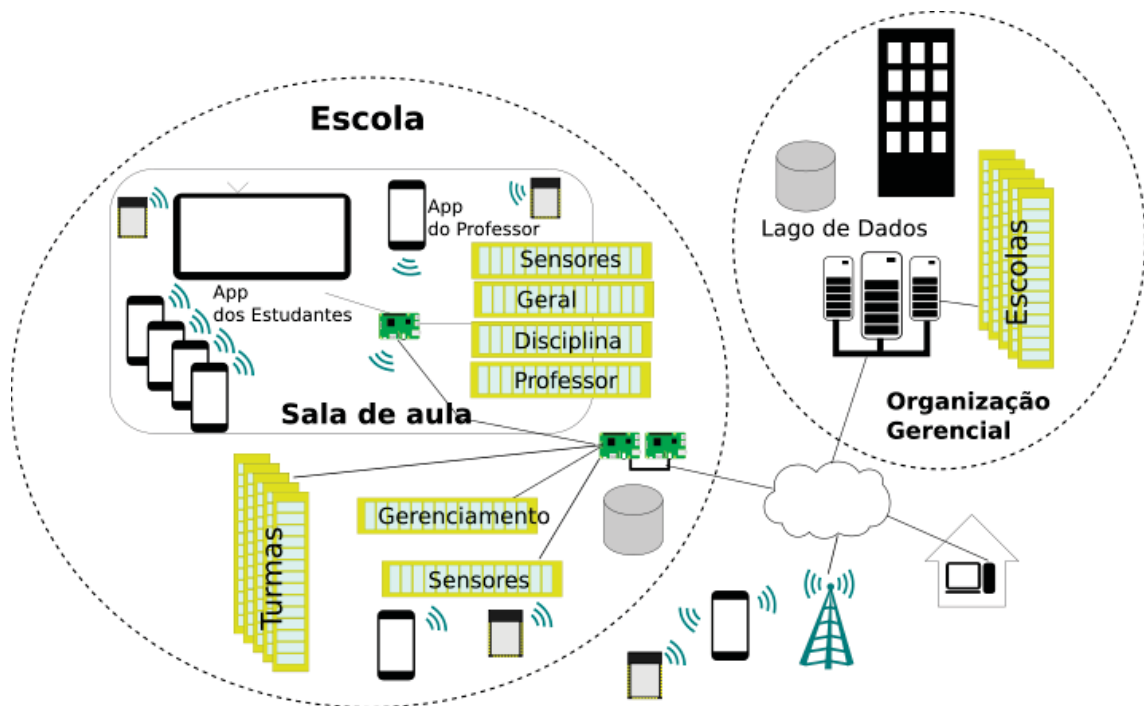


Figura 5.2: Representação da execução das filas mqtt, Curitiba, 2020

O MQTT prevê três níveis de qualidade de serviço QoS nas mensagens postadas nas filas. O nível 0 significa que pelo menos 1 usuário receberá a mensagem mas não haverá confirmação de recebimento para o emissor. O nível 1 difere do nível 0 pelo envio de confirmação. O nível 2 implementa um mecanismo de confirmação *four-way handshake* e é usado para entrega da mensagem para exatamente um subscrito [123].

O modelo de implementação MQTT permite o uso de troca de dados seguros, e autenticação utilizando protocolos como o TLS, *Transport Layer Security*. É possível a implementação de autenticação por meio de validação de certificados digitais para a autenticação

do usuário. O uso de criptografia e mecanismos de autenticação nativos da ferramenta reduzem os esforços no desenvolvimento de soluções.

Existem aplicações e ferramentas clientes MQTT para diversas arquiteturas de computadores, incluindo microcontroladores da família Atmel e ESP. A implementação em SBCs possui farta documentação tanto no site oficial <http://mqtt.org/> quanto em diversos sites indexados em ferramentas de busca. O MQTT é uma solução adequada as demandas de interoperabilidade de dispositivos de IoT [121, 122], conforme pode ser observado na figura 5.2, acima

5.2.4 Descoberta de serviços

A descoberta de recursos disponíveis no *fog* sem configurações prévias pode ser implementado utilizando o protocolo Zero config, ou Zeroconf. Este protocolo utiliza conexões *multicast* para enviar periodicamente informações sobre serviços disponibilizados por determinado dispositivo [124]. Esta forma de envio de informações funciona como um anúncio acessível a qualquer dispositivo conectado a rede utilizando o protocolo IP.

O uso da configuração zero em um ecossistema educacional apoiado por computadores oferece uma solução para a gestão autônoma dos componentes inseridos na rede. Cada recurso inserido no *fog* para agregar alguma funcionalidade pode ser acessado sem a necessidade de configuração prévia. Existem implementações de Zeroconfig para diversas arquiteturas de computadores e sistemas operacionais, incluindo *erp8266* e *Android*.

As informações apresentadas nos pacotes Zeroconf utilizam uma palavra para descrever o tipo de dispositivo ou tipo de serviço disponibilizado. Cada tipo pode proporcionar uma lista de serviços disponibilizados a partir do endereço do dispositivo. As informações apresentadas no protocolo Zeroconf incluem também o endereço IP do dispositivo, a porta onde está exposto o serviço, entre outras informações importantes para o estabelecimento da conexão.

Componentes que necessitem consumir algum recurso específico da rede, anunciado por um serviço do tipo Zeroconfig, têm que implementar esta funcionalidade. Para a descoberta do serviço o sistema deve escutar uma porta específica, receber os dados e verificar se existe um tipo de serviço disponibilizado na rede. No caso do sistema identificar o tipo de serviço com o qual deseja estabelecer conexão as informações necessárias sobre a rede são recuperadas do pacote recebido.

5.3 SEGURANÇA NO ECOSSISTEMA EDUCACIONAL APOIADO POR COMPUTADORES

Um ecossistema educacional apoiado por computador deve prover mecanismos que evitem acesso indevido a recursos, oferecendo mecanismos de verificação da identidade e os papéis representados pelos atores em suas interações. A segurança das informações na comunicação entre os componentes do ecossistema pode ser facilitada utilizando ferramentas de autorização e autenticação. A implementação destas funcionalidades pode ser utilizada como meio de prover integração e interoperabilidade [125].

A autenticação é o mecanismo que permite o acesso a algum recurso do ecossistema mediante a apresentação de credencial. Esta credencial deve ser validada por algum componente capaz de avaliar se as informações apresentadas são válidas para o recurso, um exemplo de validação de credenciais é a validação de nome de usuário e senha persistidos em algum recurso de *hardware*. Autorização é a permissão de acesso a recursos por um usuário autenticado, por exemplo alunos podem visualizar suas notas em um sistema eletrônico enquanto professores têm autorização de cadastramento e alteração destas notas.

Uso de extensões em ferramentas de autenticação permitem a implementação de estratégias de identificação de recursos de *software*, *hardware* ou papéis representados pelos atores do ecossistema. A autonomia demandada por um ecossistema educacional apoiado por computadores é favorecida quando as informações de acesso aos recursos disponíveis em algum serviço utilizam informações extras nas credenciais apresentadas antes de iniciar a interação para autorizar o acesso adequado aos recursos disponibilizados.

Infraestrutura de chaves públicas, *textitpublic key infrastructure (PKI)*, compreende um conjunto de regras e procedimentos para a gestão de certificados digitais. Uma PKI está relacionada com três serviços primários: autenticação, autoridade e confiabilidade [126]. A confiança na autoridade envolvida com uma PKI está relacionada com confiança em instituições.

Uma PKI conta com uma instituição raiz onde está centralizada a confiança institucional. Esta autoridade certificadora raiz define os procedimentos para que outras autoridades intermediárias possam emitir certificados confiáveis. A delegação de poder de emissão de certificados, até um certificado de usuário final, permite granularidade de cadeias de confiança conforme apresentado na figura 5.3.

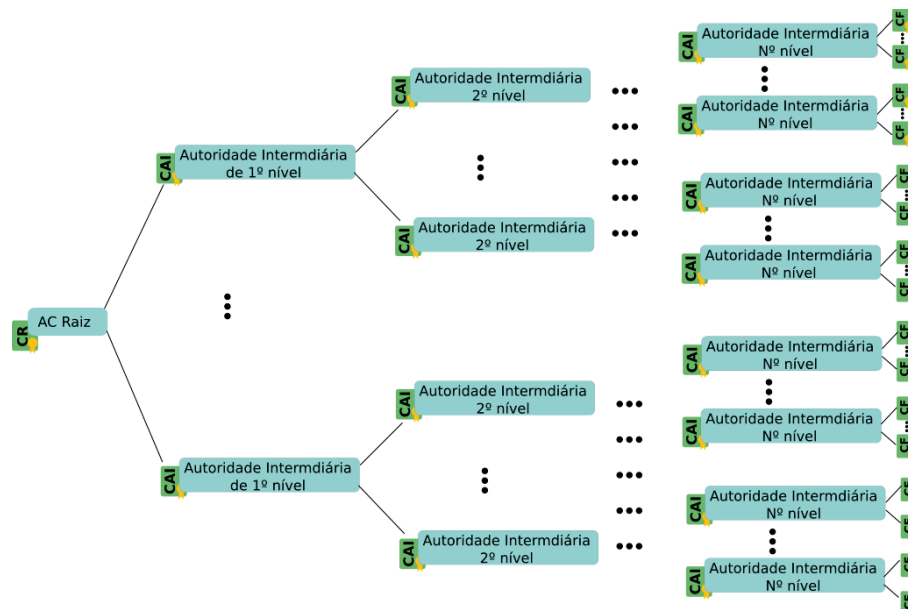


Figura 5.3: Representação de uma cadeia de autoridades certificadoras, Curitiba, 2020

Esta infraestrutura apresenta o problema de que a quebra de confiança em uma das autoridades intermediárias implica na invalidação automática de todos os certificados emitidos pela autoridade, mas se esta quebra ocorre na raiz, a revogação não pode ser implementada automaticamente [127].

Este problema é apontado como a principal deficiência na implementação de mecanismos de segurança utilizando cadeias de confiança [127]. Por outro lado este tipo de falha pode ser evitado com a escolha de autoridades que reconhecidamente utilizem os melhores padrões e práticas.

Algoritmos de criptografia assimétrica constituem a base da PKI [126]. A segurança da informação ofuscada, utilizando algoritmos desta família, e sua arquitetura a tornou padrão de referência para a transmissão de dados criptografados. As características dos algoritmos

criptográficos são componentes importantes também para garantir a integridade e veracidade de conteúdos como, por exemplo, em assinaturas digitais.

Os principais exemplos de algoritmos de criptografia assimétrica são o RSA, Rivest Shamir Adleman, ElGamal and ECC, *Elliptic Curve Cryptography* [128]. O RSA é o mais popular dos algoritmos mas o ECC tem um crescente número de usuários com tendências de se tornar o mais utilizado em um futuro próximo. A principal vantagem das curvas elípticas é o custo computacional muito menor que o RSA para a geração do par de chaves.

A necessidade de autenticação e autorização tende a ter grande relevância dada a crescente popularização das tecnologias móveis e dispositivos com algum poder de processamento. O uso de recursos interoperáveis para a identificação de pessoas e sistemas agrega maior segurança nas transações entre diferentes arquiteturas. Existe um parque consolidado de aplicações que utilizam o modelo de certificação digital utilizando o X.509, incluindo as novas tendências da internet das coisas [129].

A estrutura de certificados digitais X.509 é o padrão mais utilizado na maioria dos protocolos que implementam criptografia e nas assinaturas digitais [130]. O X.509 contém informações sobre o certificado, a chave pública, informações de identidade do portador e informações de assinaturas. Certificados digitais X.509 comumente são representados em formato ASN1 que agrega rapidez na extração das informações do certificado.

As extensões incorporadas à versão 3 do X.509 aceita a adição de informações para que certificados digitais forneçam informações de autorização confiáveis. A padronização de atributos dedicados a fornecer informações adicionais foi definida na versão 3 do X.509 disponível desde em 2002 [131]. O uso de extensões nos certificados permite estender as funcionalidades do mesmo para o atendimento de necessidades específicas dos sistemas.

A principal crítica ao uso da PKI é a existência de pontos de falha únicos [132]. A exposição das chaves privadas, ou armazenamento não autorizado destas chaves em uma autoridade certificadora, CA, implica que todos os certificados por ela emitidos devem ser invalidados. Soluções de arquiteturas distribuídas surgem como alternativa a um ponto único de CA [132].

A complexidade dos ambientes na construção de infraestrutura para a emissão de certificados é apontada como uma dificuldade na adoção do X.509 PKI [133]. As implementações do openssl, por outro lado, abstraem as complexidades dos processos envolvidos com a emissão dos certificados. A proteção das chaves privadas das autoridades certificadoras são operações críticas e que demandam por adequação do espaço físico e processos adequados à limitação do acesso a estas chaves.

A implementação de infraestrutura de autenticação e autorização em ambientes onde diferentes arquiteturas de *software* e *hardware* que atuam conjuntamente dependem de uma infraestrutura de autenticação e autorização interoperável. O uso de ferramentas e padrões amplamente utilizados é um caminho para garantir a troca de informações de maneira segura. A escolha das soluções mais adequadas depende do conhecimento dos recursos e das práticas disponíveis em ambientes escaláveis onde as possibilidades de inserção de novos dispositivos são imprevisíveis.

Padronizado em 1988 a X.509 *public key infrastructure*, PKI, se transformou na mais utilizada forma de autenticação [134]. Praticamente todos os sistemas de comunicação que necessitam de autenticação utilizam soluções baseadas no X.509 PKI. O uso ubíquo deste padrão tem sido adotado também em dispositivos de IoT, demonstrando que o X.509 PKI não deve ser substituído por outra solução em um futuro próximo.

A versão 3 do X.509 PKI fornece a possibilidade de uso de extensões que são atributos inseridos no certificado, permitindo a adição de informações adicionais em um certificado digital.

Estas informações podem ser utilizadas como dados de autorização a sistemas ou funcionalidades dos mesmos. Um certificado digital assinado digitalmente por uma autoridade certificadora garante a veracidade dos conjuntos de informações contidas no certificado.

A *Privilege Management Infrastructures*, PMIs é um conceito para o gerenciamento de autorizações [135]. As extensões incorporadas à versão 3 do X.509 proporcionaram a adição de informações que permitem o uso de certificados digitais para o fornecimento confiável de informações de autorização. A padronização de atributos dedicados a fornecer informações de apoio ao processo de autorização é o ponto de maior destaque da versão 3 do X.509, lançada em 2002 [131].

5.4 COMPUTAÇÃO EM *FOG* NO CONTEXTO EDUCACIONAL

As características da computação em *fog*, como infraestrutura para persistência e distribuição de capacidade de processamento de informações, são adequadas ao ambiente de ensino presencial. *Fog* é um cenário com arquiteturas de computadores heterogêneos, que atuam de forma colaborativa, em um modelo de ubiquidade [136]. Um *fog* educacional não é apenas um nó intermediário entre os dispositivos e o ambiente de nuvem, mas um instrumento de continuidade e independência de infraestrutura externa ao ecossistema no ambiente educacional limitado pelo espaço físico da escola.

Computação em *fog* permite que dados de interesse de um grupo, com ponto central de realização de suas tarefas, sejam mantidos ao conjunto de atividades a serem realizadas em determinado intervalo de tempo mais próximos do usuário. Em um ecossistema educacional limitado em granularidade pela interação direta com o espaço da escola, o *fog* integra os dados coletados dos sensores e é responsável pela conectividade e acesso às informações de dispositivos móveis.

Em um ecossistema educacional, o *fog* representa uma camada da infraestrutura que integra o espaço físico de um ambiente escolar específico, que pode ser toda escola até uma determinada sala de aula, com as espécies do ecossistema. No *fog* educacional, nem sempre os dados disponíveis representam o conjunto de todas as informações acessível no instante em que um conjunto de dados é requisitado. A recuperação tardia de dados persistidos em dispositivos com informações que ainda não foram entregues ao ambiente de rede interno à escola é um recurso importante no ecossistema por garantir independência de fatores externos ao sistema.

O conceito de *fog* permite a delimitação do ambiente [137] dedicado ao ensino presencial, sendo capaz de prover as ferramentas necessárias a este espaço educacional. Todos problemas de armazenamento e disponibilização do conteúdo para os estudantes e professores devem ser providos pela *fog*. Para o atendimento destas demandas uma *fog* para o apoio do processo de ensino e aprendizagem deve ser capaz de prover minimamente um conjunto de recursos de persistência de dados.

Nesta pesquisa a *fog* é composta por dispositivos de *hardware* heterogêneos capazes de trocar informações para apoiar o processo de ensino e aprendizagem. A *fog* educacional compreende uma arquitetura que apoia a continuidade do ambiente independente do acesso a internet. A persistência de dados e infraestrutura de segurança da informação são atribuições demandadas a componentes da *fog*.

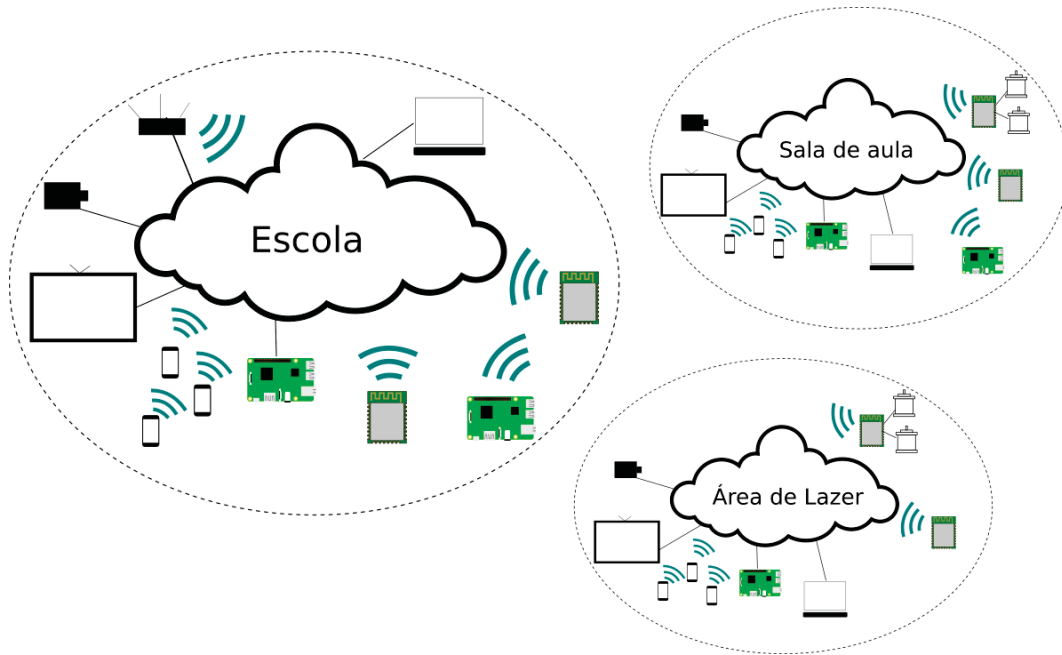


Figura 5.4: Representação da fogs educacionais, Curitiba, 2020

Dispositivos móveis como smartphones ou SBCs que consumam ou ofereçam recursos para o ecossistema ampliam o conceito de mobilidade na educação [138]. O uso de SBCs em um ecossistema educacional oferece infraestrutura para que a interação entre os diversos componentes da rede troquem informações sempre que estes tenham acesso à *fog* educacional. Smartphones tem o papel também de atuar como ferramenta para o transporte de dados entre a *fog* e outras redes utilizando seus recursos de persistência de dados.

O ecossistema educacional proposto neste projeto oferece, além de uma plataforma para a disponibilização de objetos educacionais, infraestrutura para coleta de dados. A interação dos estudantes com o sistema gera dados produzidos pelos dispositivos que interagem com a *fog*. Estes dados podem ser processados em períodos de ociosidade da capacidade computacional para as atividades de mineração de dados.

Com o apoio de sensores é possível registrar fatores ambientais e coletar imagens durante as aulas. As ferramentas de IoT utilizadas como componentes de uma *fog* em um modelo de ecossistema educacional podem atuar de forma autônoma produzindo dados que podem ser utilizados para a melhoria do ambiente de ensino. Nesta tese as informações geradas por componentes de IoT serão avaliadas em relação à sua conectividade e capacidade de integração com o ambiente. No entanto, os dados providos pelos sensores podem ser aproveitados para descoberta de informações ou aplicados em redes neurais treinadas para compreender sentimentos decorrentes da baixa latência e alta disponibilidade de banda providos pela *fog*.

5.4.1 Armazenamento na *fog* educacional

Os principais meios de armazenamento em uma *fog* educacional são os dispositivos móveis, SBCs e arquiteturas tradicionais de computadores. Estes dispositivos podem processar as informações eles próprios ou apenas armazená-las para interação com outro *hardware* ou envio para uma unidade de armazenamento mais adequada. A redundância ou invalidade de

arquivos tem que ser tratadas pelas aplicações que as consomem sem delegar as tarefas delegadas a componentes de *fog*.

A gestão do uso dos arquivos persistidos na *fog* trata somente a integridade e disponibilidade das informações aos recursos que demandem por ela. Diferentes dispositivos podem manter o mesmo arquivo, mas cada um destes deve implementar sua estratégia de validação para que a autonomia dos dispositivos não seja afetada. Isso significa que a redundância não é um problema a ser resolvido pelos mecanismos de persistência, mas pelos aplicativos que consomem este tipo de recurso.

Em um ecossistema educacional apoiado por computadores a persistência de dados pode ser feita de diversas maneiras e para o atendimento de várias necessidades. Dois tipos de dados podem ser mantidos nesta infraestrutura: objetos educacionais e dados para análise estatísticas. Objetos educacionais correspondem a qualquer tipo de arquivo que oferece apoio ao ensino de conteúdo didático enquanto dados são informações coletadas como resultado de alguma atividade.

Dados para análise são persistidos em alguma estrutura para uso futuro da informação como, por exemplo, sistemas de banco de dados. Este tipo de informação deve ser gerada pelos produtos de software que interagem com o ambiente educacional e em algum momento persistida de forma estruturada ou semi estruturada. O processamento destas dados pode ser realizado na própria *fog* ou enviado para dispositivos com maior capacidade de armazenamento e processamento em algum ambiente externo a *fog*.

5.4.2 Segurança na *fog* educacional

A garantia de autenticidade e veracidade das informações oferece confiança na realização das tarefas. Em uma *fog* educacional deve ser adotado um padrão de verificação das informações utilizando um *framework* suportado por todos os componentes do ecossistema. A autenticação e autorização para acesso a recursos é implementada como uma funcionalidade acessível a todos os recursos que demandem por esta funcionalidade.

Certificados digitais implementam as melhores práticas para a autenticação e autorização digital [139, 129]. As informações contidas em um certificado digital são totalmente confiáveis e, por meio de algoritmos criptográficos adequados, praticamente invioláveis. Esta é uma tecnologia de segurança amplamente difundida e utilizada quando é necessário um alto padrão de confiabilidade.

Uma *fog* educacional pode ter sua própria cadeia de confiança a partir de uma raiz própria ou de uma autoridade certificadora intermediária que emita os certificados para os dispositivos do ecossistema. A implementação de um ponto específico na *fog* para a emissão de certificados oferece um nível de confiança elevado quando implementado corretamente. A arquitetura de uso de certificados digitais para autenticação e autorização para acesso a recursos para autonomia dos componentes do ecossistema.

A autenticação e autorização por meio de certificados além de oferecer autonomia dos componentes do ecossistema favorece maior interoperabilidade entre os dispositivos e aplicações. A manutenção das permissões de acesso aos recursos fica mais simples uma vez que não é necessário que cada sistema implemente as credenciais para cada usuário [126]. A validação de um certificado e verificação do papel do ator e informações extras como a turma em que o estudante está cadastrado concede informações para qualquer sistema validar o usuário que deseja acessar os recursos.

5.4.3 Serviços de mensageiria na fog educacional

O modelo de proposto utiliza a implementação MQTT como ferramenta de comunicação padrão entre os componentes computacionais do ecossistema. A organização de tópicos (filas) identificam o tipo de interação a ser realizada entre os componentes. Os tópicos podem ser consumidos por um ou mais componentes do ecossistemas que necessitem de uma determinada informação. Um exemplo de uso desta arquitetura é o recebimento de recursos destinados aos alunos, o professor posta um determinado arquivo e todos os dispositivos de alunos subscritos no tópico recebem esta informação quase simultaneamente.

O MQTT é um padrão que pode ser implementado livremente e existem diversos sistemas de brokers utilizando este padrão. Para os experimentos realizados neste estudo foi escolhida a implementação Mosquitto [120]. A escolha decorre do produto estar licenciado livremente, possuir código fonte bem documentado, estar disponível nos repositórios Raspbian entre outros fatores. A escolha da implementação demonstrou-se adequada durante o processo de realização dos experimentos realizados durante a pesquisa.

Na implementação realizada as filas podem ser unidirecionais, uma para escrita e outra para leitura, ou bidirecionais onde é possível escrever no tópico em que o sistema esta subscrito. Na troca de informações entre o professor e os estudantes, por exemplo, existe um tópico onde os dispositivos dos estudantes permanecem recebendo o conteúdo e quando desejam enviar informações para os professores devem usar o tópico que o sistema do professor está subscrito. No modelo de implementação utilizado os estudantes não podem postar mensagens na fila que o professor envia as mensagens.

O acesso as informações podem ser implementados com diferentes limitações de acesso. Um tópico pode ter restrita limitada a uma determinada rede, como por exemplo apenas a fog, ou ser disponibilizado publicamente. A implementação de controle de leitura e escrita deve ser implementada para garantir que apenas aqueles atores que tem acesso ao recurso tenham o acesso adequado. O controle de acesso pode ser implementado de diversas maneiras de acordo com a configuração do ambiente, permitindo a autenticação e autorização por meio de certificados digitais.

Os brokers MQTT são utilizados para a segmentação, limitação de acesso e adequação ao contexto [122]. Na implementação experimentada o dispositivo utilizado em sala de aula e dispositivo SBC individual do professor é utilizado como broker para diversas disciplinas. A integração entre ambientes externos também pode ser atendido utilizando tópicos.

Os tópicos MQTT podem receber diferentes formatos de dados, dependendo das necessidades de cada implementação. O uso de mensagens utilizando o formato JSON foi utilizado na implementação sempre que possível. Para transferência de dados binários foi feita a opção da disponibilização de servidores HTTP para reduzir a complexidade da implementação dos clientes.

5.4.4 Implementação independente de recursos prévios e descoberta de serviços na fog educacional

Cada componente do ecossistema deve ter seu funcionamento independente da existência de outros dispositivos com os quais deseja interagir. Por outro lado um ecossistema demanda por intensa comunicação entre as espécies e o ambiente. Esta comunicação é um dos princípios norteadores para a implementação de um ecossistema educacional apoiado por computadores.

A implementação das ferramentas utilizadas em um ecossistema educacional devem prover a independência de outros recursos mas ser capaz de ser integrada ao ecossistema. O uso do padrão MQTT é uma resposta para as necessidades de interação mas os componentes

computacionais serem capazes de identificar o broker para iniciarem o processo de interação. A implementação de recursos de descoberta de dispositivos e componentes de software é foi resolvida com a implementação de recursos zero-configuration networking, zeroconf.

Cada dispositivo que passa a interagir com o ecossistema utilizando tópicos MQTT deve subscrever-se no tópico relacionada ao serviço específico para passar a receber mensagens. Para a limitação das ações possíveis de cada elemento com o os tópicos foi desenvolvido um componente que faz a validação do usuário para permitir ou negar a interação com cada tópico. O componente que autoriza um usuário a interagir com determinados tópicos é um plugin que é acionado pelo broker a cada tentativa de leitura ou escrita no tópico.

Existem diferentes maneiras da realização do controle de acesso aos tópicos MQTT implementados utilizando plugins como banco de dados, uso de chaves simétricas, arquivos textos entre outras. A implementação de validação testada neste estudo utilizou certificados digitais como meio de autenticação e autorização. A existência de mecanismos capazes de processar informações contidas em certificados digitais é um fator relevante na preservação de autonomia de cada componente na rede.

5.5 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

A implementação de um ecossistema educacional apoiado por computadores resulta da aplicação dos modelo teórico e das ferramentas de TIC utilizando padrões abertos e amplamente utilizados. A observância das tendências de novos dispositivos de *hardware* e *software* ou de padrões que tragam melhorias ao ambiente são impactantes no sucesso na implementação do ecossistema. Um ecossistema educacional apoiado por computadores concebido a partir dos requisitos enunciados nesta tese não está limitado apenas as TICs apresentadas neste capítulo, no entanto, estas oferecem um conjunto de artefatos que foram identificados como soluções adequadas neste início da década de 2020.

As ferramentas de TIC apresentadas oferecem um arcabouço tecnológico para a implementação de um ecossistema educacional apoiado por computadores. A infraestrutura proporcionada pelos itens apontados permite que outras tecnologias, existentes ou futuras, sejam agregados ao ambiente. O capítulo 6 apresenta exemplos que ilustram os potenciais disponibilizado pelo arcabouço tecnológico apresentado neste capítulo.

6 EXEMPLO DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM ECOSISTEMA EDUCACIONAL APOIADO POR COMPUTADORES

Neste capítulo é apresentado uma implementação experimental da infraestrutura utilizando os conceitos de ecossistema apoiado por computadores propostos nesta tese. São detalhadas as decisões de arquiteturas e as ferramentas utilizadas para investigar o uso de SBCs, smartphones e dispositivos de IoT em um ecossistema educacional apoiado por computadores a partir da identificação de tecnologias promissoras neste início de década de 2010.

6.1 METODOLOGIA DOS EXPERIMENTOS

As aplicações previam uma interface para ser utilizada pelo professor como ferramenta para apoio as tarefas de gestão e apresentação de conteúdo e uma interface para o estudante interagir com o sistema. Ambas as aplicações utilizavam a infraestrutura de rede fornecida por um SBC que também foi responsável por prover integração com os dispositivos de saída de vídeo e orquestração do tráfego de informações entre os componentes do ecossistema.

Para avaliar as possibilidades de implementação dos requisitos de um ecossistema educacional apoiado por computadores foram feitos experimentos com implementações de *software* e *hardware*. Estas implementações visam demonstrar o uso dos conceitos de ecossistemas e tecnologias aplicadas ao ensino e aprendizagem para um conjunto de ferramentas, com evidências de uso. Os experimentos realizados compreendem experimentações de SBC e integrações deste com dispositivos móveis e ferramentas de IoT.

6.1.1 Seleção dos SBCs

Os critérios aplicados para a seleção das placas SBC foram tamanho da memória RAM (random access memory), uso de SoC com processadores da família ARM Cortex A1, existência de interface de rede e de pinos GPIO, baixo custo e facilidade de aquisição. Para a identificação das placas foram realizadas consultas em sites de venda on-line que realizam entregas no Brasil resultando na seleção dos SBCs apresentados na tabela 6.1.

Modelo	Processador	Clock	RAM ¹	Wi-Fi	Bluetooth	Preço ² US\$
Raspberry Py Zero W	ARM A11	1Ghz	512MB	Sim	Não	6
Raspberry Py V3	ARM A53	1.2GHz	1GB	Sim	Sim	25
Raspberry Py V4	ARM A72	1.5GHz	1-4GB	Sim	Sim	49 - 75
Banana Pi M64	ARM A53	1.2GHz	2GB	Sim	Não	45,00
Orange Pi 3	ARM A53	1.28GHz	1-2GB	Sim	Sim	35,00
Pine A64	ARM A64	1.28GHz	512MB-2GB	Não	Não	15,00-29
Rock64	ARM A53	1.15GHz	512MB-2GB	Não	Não	24,95-44,95

Tabela 6.1: Características de modelos de SBC utilizados neste estudo. Curitiba, 2020

Os dispositivos apresentados na tabela 6.1 foram adquiridos para a realização de experimentos ao longo de toda a pesquisa. Defeitos e dificuldades de instalação de software ou configurações muito específicas foram critérios para o descarte do SBC para a implementação dos protótipos. As versões finais dos protótipos foram implementadas apenas nas placas que

apresentaram melhores condições de uso considerando custo, facilidade de aquisição e instalação e documentação de fácil acesso.

A partir dos critérios de seleção foram escolhidas três placas para a validação de atendimento das capacidades demandadas por um ecossistema educacional apoiado por computadores. A seleção dos produtos da família Raspberry decorre principalmente da capacidade de reaproveitamento das imagens geradas para uma versão para todas as outras. Esta característica não apenas permite reduzir os esforços de prototipação e teste mas também demonstra-se adequada para ambientes de produção em larga escala.

Item	Raspberry V3	Rasoberry V4	Raspberry Zero W
Processador	4x Cortex-A53 1.4 GHz	4x Cortex-A72 1.5Ghz	1x ARM11 1Ghz
Memória	1Gb	1,2 e 4 GB	512Mb
Saída HDMI	1x Convencional	2x micro HDMI	1x mini HDMI
Saída vídeo composto	Sim	Sim	Via GPIO
USB	4x2.0 A	2x3.0 A 2x2.0 A	1xMicro USB 2.0
GPIO	40 pinos	40 pinos	40 pinos
GPU	400 MHz	500 MHz	300 MHz
Dimensões	88 x 58 x 19.5mm	82 x 56 x 19.5mm	66.0 x 30.5 x 5.0mm
Alimentação	Mini USB	USB C	Mini USB
Wi-fi	b/g/n/ac 2.4 e 5 Ghz	b/g/n/ac 2.4 e 5 Ghz	b/g/n 2.4 e 5 Ghz
Ethernet	Gigabit	Gigabit	Não possui

Tabela 6.2: Descrição da capacidade das placas utilizadas no estudo, Curitiba, 2018

Apesar do foco em apenas um fornecedor de hardware, o uso de três versões com capacidades de processamento, memória e interfaces muito diferentes permite uma visão das capacidades e limites do uso de SBCs como ferramenta de sustentação a um ecossistema educacional apoiado por computadores. A tabela 6.2 apresenta as configurações das placas de referência utilizadas para os protótipos gerados nesta pesquisa.

6.1.2 Ferramentas de integração com o SBC

Para avaliar um modelo de integração aplicado ao uso do ecossistema educacional apoiado por computadores em sala de aula foram desenvolvidas duas aplicações para smartphones utilizando sistema operacional Android. As aplicações previam uma interface para ser utilizada pelo professor como ferramenta para apoio as tarefas de gestão e apresentação de conteúdo e uma interface para o estudante interagir com o sistema. Ambas as aplicações utilizavam a infraestrutura de rede fornecida por um SBC que também foi responsável por prover integração com os dispositivos de saída de vídeo e orquestração do tráfego de informações entre os componentes do ecossistema.

A funcionalidade das implementações de integração do smartphone com o SBC foram testadas por estudantes de graduação do curso de Ciência da Computação da Universidade Federal do Paraná. Estes testes foram feitos por meio de um manual de operação do sistema onde cada uma das operações desejáveis foi experimentada e quando erros de implementação eram identificados estes eram solucionados e um novo ciclo de testes era feito até que o comportamento da funcionalidade testada representasse o esperado. Durante os ciclos de teste era possível propor melhorias que se aprovadas eram implementadas.

A implementação de uma infraestrutura de autenticação e autorização no ecossistema foi feita por meio da criação de scripts para a geração de certificados e implementação de validação

dos mesmos em aplicativos. A emissão dos certificados a partir de uma raiz e autoridades certificadoras intermediárias proporcionou a simulação de uma infraestrutura de chaves públicas, PKI, reconhecida pelo ecossistema proposto. As implementações testadas envolvem a validação dos certificados pelo broker MQTT que também foi responsável pela autorização ao acesso aos tópicos.

Para a validação da integração com dispositivos de IoT foram realizados testes para avaliar a conectividade de placas ESP-32 e ESP-8266. Nestes testes foi desenvolvido um programa para a conexão com os dispositivos com as filas MQTT e envio de informações mDNS. Foram utilizadas 8 placas com SoC ESP-8266 e duas com SoC ESP-32 conectadas simultaneamente por meio de rede sem fio e broker MQTT providos por um SBC.

6.1.3 Especificação das implementações

A implementação de um ecossistema educacional apoiado por computadores apresenta um modelo de uso das TICs para a melhoria do processo de ensino e aprendizagem a partir de experimentos realizados para a validação dos conceitos de ecossistema educacional apoiado por computadores apresentados nesta tese. Os softwares utilizados nesta implementação, assim como todos os produtos desenvolvidos utilizam licenças de software livre, podendo ser replicadas sem custos. Os programas implementados, assim como a documentação de instalação e uso das ferramentas apresentadas, estão disponíveis no repositório <https://gitlab.c3sl.ufpr.br/c3sl/aulacast/>.

Para a validação da infraestrutura proposta foram feitos experimentos com SBCs como ferramentas para auxiliar as atividades de apoio à construção do conhecimento, consumo de conteúdo e suporte à comunicação entre dispositivos. A infraestrutura utilizada para a troca de dados entre os componentes do ecossistema proposto utilizaram funcionalidades disponibilizadas pelo SBC. Os experimentos realizados resultaram em protótipos capazes de prover funcionalidades adequadas às demandas do ambiente escolar em pelo menos três frentes distintas: criação de ambiente para organização, seleção e persistência de objetos educacionais; estratégias para o consumo de conhecimento e interação utilizados pelos aprendizes e infraestrutura para apoio às atividades de gestão da prática pedagógica.

As implementações evolutivas dos protótipos permitiram a interação com diferentes tipos de mídia e recursos educacionais. A adequação com novas tecnologias ou demandas foram realizadas sem a necessidade de alterações significativas no hardware dos dispositivos. O uso de padrões abertos e software livre facilitaram a integração entre arquiteturas diversas e a liberdade de uso e modificações nos *software* utilizados nos protótipos.

6.2 O SBC PARA APOIAR A PRÁTICA DIDÁTICA

O Aulacast Teacher SBC é um conjunto de implementações e configurações para serem executadas em SBCs como ferramenta de apoio à prática didática do professor. O produto foi concebido para promover integração com dispositivos de saída que inclui TVs CRT, monitores, projetores multimídia, smartphones conectados a rede, etc. O Aulacast Teacher SBC agrega um dispositivo para execução de objetos educacionais digitais, interação com dispositivos móveis e ferramentas de IoT.

Desenvolvido utilizando padrões abertos e distribuído sobre licença livre o Aulacast Teacher SBC é adequado ao uso em condições de extrema restrição de recursos e em centros urbanos de países desenvolvidos. Sua implementação permite evoluções constantes e adequação para execução de diferentes recursos multimídia permitindo ao professor e aos estudantes uma experiência inclusiva no uso das TICs. As ferramentas que compreendem o Aulacast Teacher

App podem ser utilizadas em diversas configurações de hardware que incluem dispositivos que podem ser transportados no bolso.

Concebido para o apoio as atividades do professor em sala de aula é possível adequar o dispositivo para o uso de preparação de conteúdo por meio da conexão de mouse e teclado no dispositivo. A implementação utilizando o Raspberry Pi Zero W, que possui apenas uma porta USB, depende de *hub* USB para a produção de conteúdo com o Aulacast Teacher SBC. Por outro lado a versão Zero W tem dimensões menores que as versões 3 e 4, permitindo maior facilidade de transporte do dispositivo.

O Aulacast Teacher SBC pode ser implementado como recurso individual para cada professor ou como um recurso fixo da sala de aula. Mesmo a implementação utilizando as versões 3 e 4 do Raspberry Pi permite mobilidade do dispositivo uma vez que este, mesmo embarcado em *cases*, tem dimensões menores do que uma carteira de bolso. Para o uso fixo do dispositivo em sala de aula é possível o uso de *cases* feitos em material metálico e fixado em algum ponto, como paredes de alvenaria, para evitar furtos ou depredações.

O Aulacast Teacher SBC implementa as seguintes funcionalidades;

- Fornecer rede 802.11;
- Persistir objetos da *fog* no dispositivo;
- Executar o broker MQTT;
- Enviar dados multicast;
- Executar recursos educacionais multimídia;
- Manter a estrutura de autoridade certificadora;
- Integração com dispositivos de saída;
- Gerenciar conexões;
- Persistir objetos da *fog*;
- Processar dados distribuídos;
- Gerenciar bancos de dados;
- Recuperar na internet os dados solicitados pelo SBC de sala de aula;
- Fornecer interface gráfica

6.2.1 Implementação dos aplicativos

O acionamento de programas no Aulacast Teacher SBC é feito por chamadas ao sistema operacional e repasse de parâmetros de execução *script*, permitindo a atualização de versões mais novas de *software* e inclusão de novos aplicativos. Nesta estratégia de implementação cada software passa ser uma espécie virtual do ecossistema, agregando suas funcionalidades ao ambiente e preservando seu funcionamento autônomo. Os aplicativos apresentado na tabela 6.3, são acionador com mensagens MQTT ou por interrupções do sistema operacional, acionada por mouse ou teclado.

Ação	Aplicativo
------	------------

Exibir PDF	Evince
Exibir Imagem	Feh
Exibir Video	OMX Player
Tocar Áudio	OMX Player
Exibir HTML	Chromium

Tabela 6.3: Comandos implementados no aplicativo Aulacast.

O software desenvolvido utiliza tópicos MQTT para receber as instruções de execução ou comandos de teclado e mouse. As instruções de execução de arquivos multimídia realizam chamadas ao sistema operacional informando qual o programa a ser executado e passa os parâmetros para a execução do mesmo. A execução de programas pode ser feito por teclado e mouse instalados fisicamente no dispositivo, dispensando desta forma o uso da emulação provida pelos tópicos MQTT.

Além do tópico de execução de comandos, o aplicativo conta com um tópico dedicada ao recebimento de instruções de comandos de movimento do cursor do mouse e outra para simulação de teclado. A fila de execução de programas pode receber parâmetros extra para interagir com algum programa em execução ou realizar chamadas ao sistema operacional. Um protocolo padrão de comandos foi criado para tornar o sistema interoperável e mais adequado ao modelo de ecossistema apoiado por computadores.

Foi também desenvolvida uma interface gráfica para ser exibida pelo dispositivo de saída conectado ao SBC, ajustando sua resolução de acordo com a interface que poderia ser HDMI ou cabo composto, mostrado na figura 6.1. Esta interface exibe informações relativas ao conteúdo a ser apresentado pelo professor, usuário conectado além de permitir a exibição de informações ambientais como temperatura e nível de ruído sonoro. A interface gráfica pode ser configurada para exibir dados personalizados como por exemplo o logotipo da instituição de ensino.

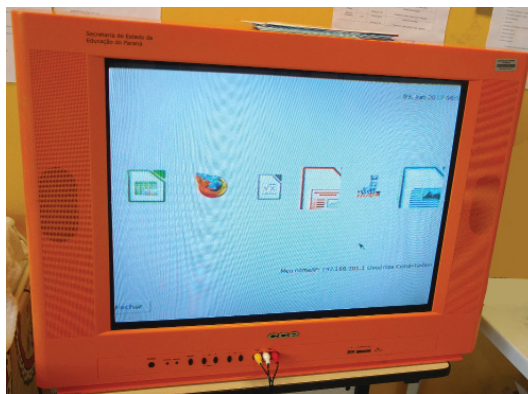


Figura 6.1: TV multimídia executando o Aulacast SBC, Curitiba, 2020

Foi utilizado o formato JSON para o recebimento de comandos, enquanto o movimento do cursor do mouse opera com instruções mais simples contendo apenas três bytes para informar um vetor de deslocamento na tela. Os valores de comando de mouse recebidos representam a direção em que o cursor do mouse seria deslocado utilizando o primeiro byte para indicar um deslocamento horizontal e o segundo para o deslocamento vertical, conforme tabela 6.4. A cada comando de mouse recebido o cursor incrementa ou decrementa 4 pixels da posição atual.

Comando	Deslocamento
00	↙
01	↖
02	←
10	↘
11	↗
12	→
20	↓
21	↑
22	-

Tabela 6.4: Comando para movimentação do mouse. Curitiba, 2020

A interface gráfica do Aulacast Teacher SBC implementa uma interface gráfica que oferece uma tela inicial com informações para o professor e para os estudantes conforme figura 6.2. A customização da interface pode ser feita por meio de substituição dos arquivos de imagem persistidos na pasta imagens no diretório .aulacast na pasta padrão do usuário. A implementação foi feita em Python e utiliza a biblioteca Qt para a geração dos componentes gráficos.

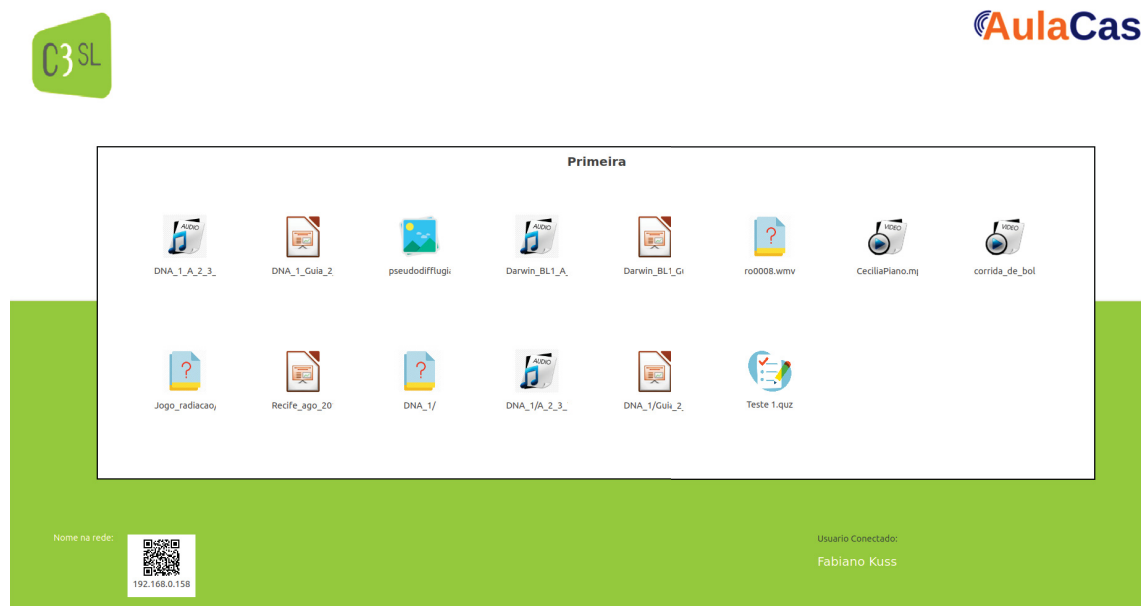


Figura 6.2: Tela inicial do Aulacast Teacher SBC, Curitiba, 2020

Na tela inicial apresentada pelo Aulacast Teacher SBC são apresentadas as informações de endereço IP, do usuário conectado e dos objetos educacionais da aula ativa. O endereço IP é representado por um QR Code que também informa a porta utilizada pelo broker MQTT. Esta tela inicial é mantida por um servidor de janelas que executa o script na sua sequencia de inicialização.

A implementação do Aulacast Teacher SBC foi direcionada para os SBCs Raspberry Pi V3, V4 e o Raspberry Zero W mas testes preliminares demonstram que pode ser utilizados em outros SBCs. O desenvolvimento do software de interface e integração foi feito utilizando a linguagem Python e C. Para simplificar o uso do equipamento foram experimentas interfaces

eletrônicas conectadas a interface GPIO capazes de prover funcionalidades extras, como seleção da saída padrão e ajustes de vídeo, ao sistema mas que não foram concluídas até o final deste estudo.

6.3 FERRAMENTAS PARA APOIO ÀS PRÁTICAS PEDAGÓGICAS DO PROFESSOR NO SMARTPHONE

Apesar da existência de diversos artefatos de software e hardware disponíveis para o apoio as atividades didáticas do professor nenhum destes tem foco na integração e interoperabilidade necessárias para um modelo de ecossistema educacional. Para o preenchimento desta lacuna foram estudados dispositivos que poderiam de ser modificados para um uso mais amplo das TICs no apoio as tarefas didáticas do professor. O uso de SBCs aliados a smartphones foram identificados como promissores meios para uso no modelo de ecossistema proposto nesta tese.

Devido a carência de aplicativos para smartphones para apoio a prática profissional do professor dotadas de recursos de integração [100] foi necessária a implementação de uma solução de *software* para o suprimento desta lacuna que foi denominado como Aulacast Teacher App. O Aulacast Teacher App interage com o Aulacast Teacher SBC para a realização de atividades relacionadas a prática profissional do professor [1]. Este aplicativo foi desenvolvido em Kotlin e Java para ser executado em smartphones Android e permite a gestão do conteúdo didático e a interação com outros componentes do ecossistema.

Funcionalidades disponibilizadas pelo Aulacast Teacher App:

- Calendário;
- Armazenamento de objetos educacionais;
- Preparação de aulas;
- Servidor de recursos de vídeo;
- Gestão de presença dos alunos;
- Integração com o portal do MEC;
- Controle do conteúdo em apresentação;
- Envio de exercícios de avaliação para os alunos;
- Relatório de atividades dos alunos;

Visando facilitar o uso do aplicativo existem explicações sobre a funcionalidade da interface em cada uma das telas. Este mecanismo permite que o usuário explore as funcionalidades da ferramenta a medida que este passe a utilizar a interface apresentado na figura. Esta implementação busca aprimorar o conhecimento tecnológico do professor [101] para que este possa potencializar seus conhecimentos didáticos do conteúdo [140].

O aplicativo Aulacast Teacher App implementa uma interface para comunicação com os tópicos MQTT para enviar instruções que simulam dispositivos de entrada e executam comandos. A interação com as funcionalidades providas pelo Aulacast Teacher SBC permite que o professor execute os comandos do seu próprio smartphone e os resultados sejam apresentados nas interfaces do SBC. Esta implementação apresenta uma solução que permite grande interoperabilidade permitindo a inserção se novos componentes no ecossistema.

O envio de mensagens de comando para a emulação das interfaces de entrada foi implementada por meio de tópicos específicos para cada tipo de dispositivo. O uso de uma fila para envio de mensagens para controle do mouse permitiu não apenas avaliar a funcionalidade específica mas também estudar o comportamento da infraestrutura com o envio de muitos comandos em um intervalo de tempo curto. Duas interfaces foram utilizadas para este serviço: o uso de um simulador de touchscreen e o acelerômetro do smartphone.

Utilizando as interfaces de vídeo do SBC o Aulacast Teacher App proporciona a conexão com TVs, projetores multimídia, monitores ou qualquer outro dispositivo que utilize interfaces HDMI ou vídeo composto. Utilizando adaptadores as funcionalidades de exibição de vídeo podem ser expandidas para outras interfaces existentes o que venham a ser criadas. O conteúdo a ser exibido é controlado por um *script* Python instalado no SBC que interpreta comandos recebidos em uma fila, o `mqtt_message.py`.

A transmissão dos dados multimídia pode ser feita para os dispositivos individuais de cada aluno, com interação em tempo real do professor. Isso garante maior flexibilidade no ambiente de encontros coletivos, já que qualquer espaço físico passa a ser uma sala de aula dotada de recursos multimídia. Este tipo de estratégia implementa as premissas de aprendizagem ubíqua a ambientes com severas restrições de infraestrutura.

Com o aplicativos Aulacast Teacher App o professor pode organizar aulas utilizando seu smartphone em qualquer lugar e a qualquer momento [42]. Os recursos adequados ao conteúdo a ser apresentados podem ser obtidos de diversos meios digitais. Portais educacionais podem ser utilizados como fonte de busca de recursos adequados ao conteúdo a ser abordado em determinado tópico.

O Aulacast Teacher App conta também com uma interface para interação com a Plataforma MEC de Recursos Educacionais Digitais permitindo que o professor busque e armazene recursos educacionais para utilizar em suas aulas. Esta funcionalidade foi implementada integrada com o armazenamento dos recursos educacionais a serem utilizadas em aulas específicas. A integração pode ser ampliada para outros repositórios educacionais a partir do uso de padrões Dublin Core, adotados na Plataforma MEC de Recursos Educacionais Digitais.

6.4 UTILIZAÇÃO DAS FERRAMENTAS PELO PROFESSOR

Todas as atividades de produção de conteúdo independem de acesso a redes de comunicação, podendo ser utilizado a qualquer momento e em qualquer local sem nenhum pré requisito. Os recursos educacionais multimídia podem ser copiados por meio da interface USB do smartphone, permitindo cópia a partir de arquivos persistidos em desktops ou laptops. Qualquer recurso disponível na unidade de persistência do smartphone pode ser acessada pelo aplicativo Aulacast Teacher App.

O aplicativo desenvolvido buscou apresentar interfaces com as quais o professor acostumado com o uso das telas Android e de sistemas operacionais Desktop, apresentado na figura 6.3. O uso de ícones e componente padrão organizados para direcionar ao uso correto das funcionalidades, abstraindo as complexidades relacionadas as questões computacionais foi o principal norteador da construção das telas. A comunicação entre o aplicativo e os demais componentes do ecossistema foi centralizado em mensagens utilizando o padrão MQTT.

Com o Aulacast Teacher app iniciado no sistema operacional Android no smartphone do professor é apresentada uma tela com um conjunto de funcionalidades disponibilizadas pela ferramenta, demonstrada na figura 6.3. Para iniciar o uso das funcionalidades o professor deve cadastrar a disciplina que será ministrada com o apoio da ferramenta. Existem duas opções de acesso e cadastramento de disciplinas os ícones Disciplinas e Grade Horária.

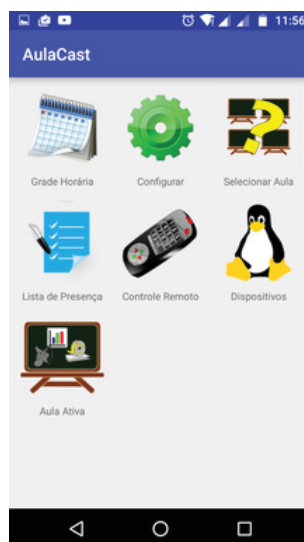


Figura 6.3: Tela principal do Aulacast Teacher App, Curitiba, 2020

Quando o professor seleciona uma determinada aula o aplicativo disponibiliza todas as funcionalidades relacionadas com a aula corrente. Ao conectar com o dispositivo SBC é exibida na interface de saída de vídeo do mesmo todos os objetos educacionais que serão utilizados para a aula expositiva.

Para a conexão com o dispositivo SBC o professor poderá utilizar o ícone Dispositivos na tela inicial do Aulacast Teacher App ou, caso já tenha selecionado alguma aula, utilizar o atalho do menu da interface. Para garantir a privacidade das informações do professor a implementação evitou a replicação da tela do smartphone na interface de saída de vídeo do SBC. Ao selecionar algum dos recursos educacionais cadastrados para a aula o sistema apresenta ao professor as opções de executar localmente, remotamente ou enviar o recurso para os estudantes.

Os recursos educacionais utilizados pelos professores são relacionados com aulas específicas que estão sempre vinculadas com disciplinas. As disciplinas são cadastradas em dias da semana específicos e as aulas obrigatoriamente devem ser registradas no dias das disciplinas. A organização de persistência de informações do Aulacast Teacher App buscou representar a maneira como são organizadas as aulas no ambiente sem apoio de computadores, conforme figura 6.4(c).

O aplicativo implementa uma ferramenta de busca de aulas disponíveis por intervalos de datas. A opção de seleção padrão é o dia corrente, apresentando todas as aulas cadastradas para o dia, dispondo d opção de busca por datas anteriores a atual, por semana, por mês ou por semestre. A interação com o dispositivos Aulacast Teacher SBC para a exibição de conteúdo depende da seleção da aula atual que pode ser feita pela interface de busca, através da grade horária ou pelo cadastro de disciplinas, um exemplo de uso é representado na figura 6.5.

Apoiado no contexto de independência de conectividade o Aulacast Techer App conta com uma ferramenta para a criação de questionários para ser aplicado aos estudantes, apresentado na figura 6.4(c). Esta é uma ferramenta importante no contexto do uso de um ecossistema educacional apoiado por computadores pois permite avaliações sobre a compreensão do conteúdo apresentado no momento em que o conhecimento está sendo discutido. O recurso educacional questionário é criado por interface específica do aplicativo e pode ser enviado aos estudantes no momento que o professor considerar mais adequado.

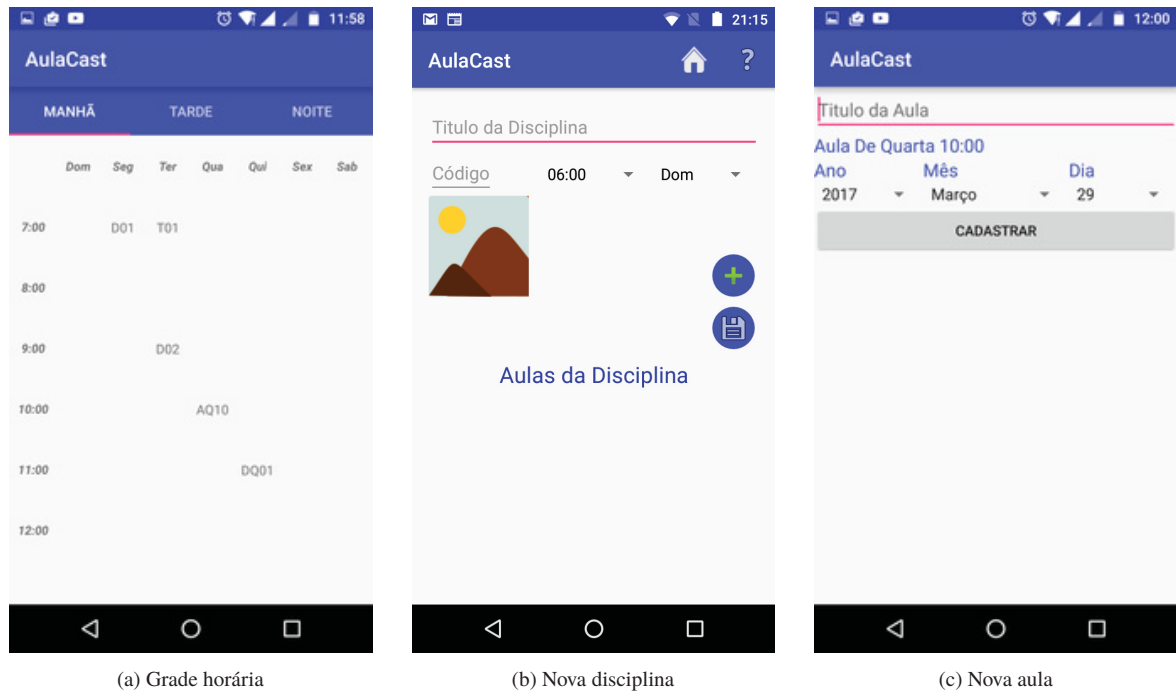


Figura 6.4: Telas Grade horária, nova disciplina e nova aula, Curitiba, 2020

O Aulacast Teacher App dispõe de um servidor HTTP que é utilizado como servidor de arquivos de vídeo que podem ser consumidos pelo Aulacast SBC. Esta funcionalidade permite que os dados sejam transmitidos para o SBC conectado ao dispositivo de vídeo sem a necessidade de ser previamente copiado para o dispositivo. O servidor HTTP também pode ser utilizado para atender solicitação de leitura de outros arquivos do SBC para o Aulacast Teacher App.

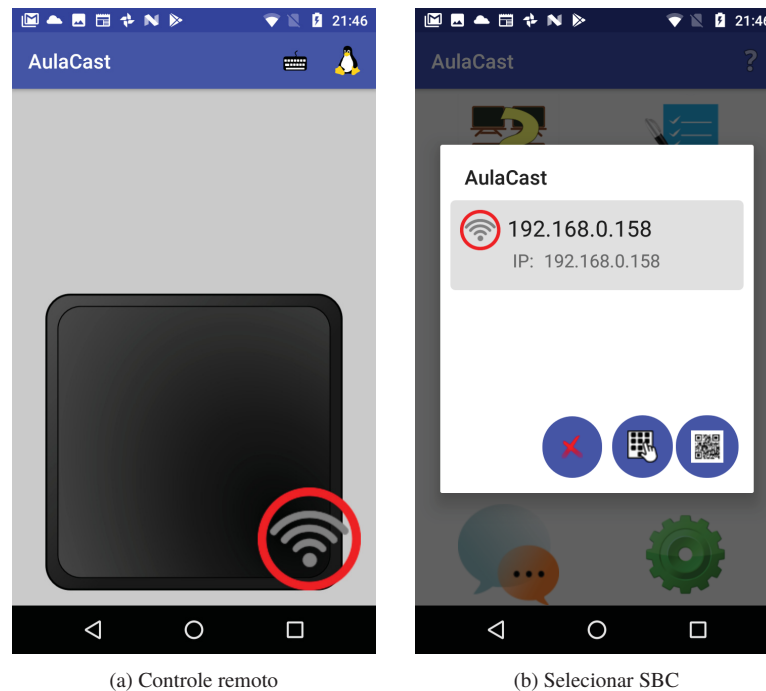


Figura 6.7: Telas de interfaces de comunicação com o aplicativo, Curitiba, 2020

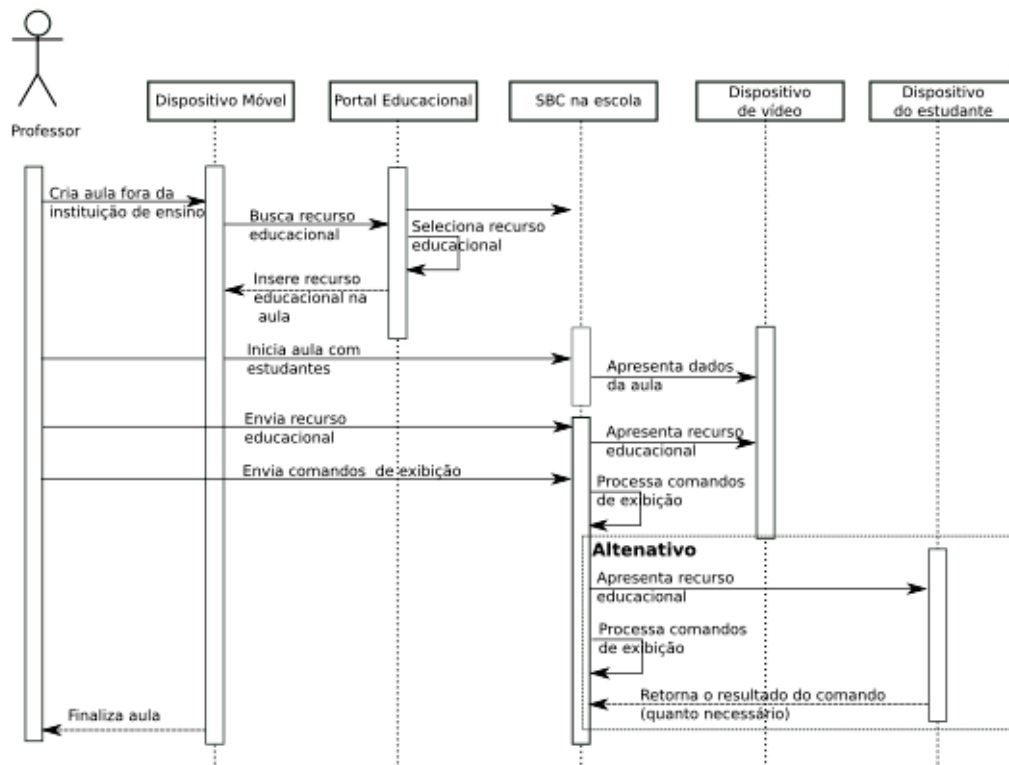
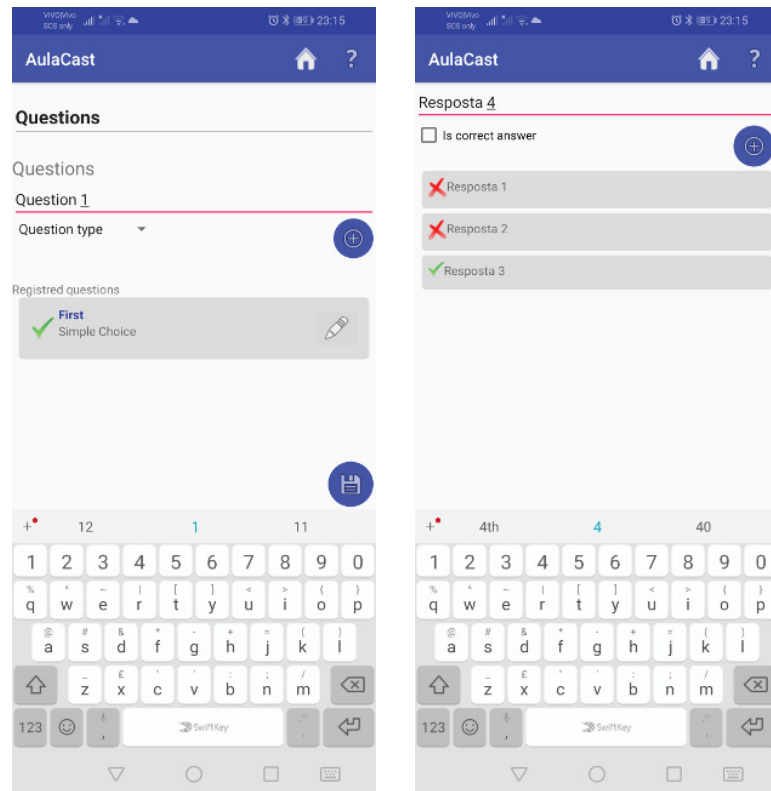


Figura 6.5: Diagrama de sequência para representar o uso integrado do smartphone e SBC, Curitiba, 2020

Opcionalmente o professor poderá utilizar a funcionalidade controle remoto do aplicativo Android para interagir com o SBC, apresentado na figura 6.7(a). Esta funcionalidade recebe informações sobre qual programa está rodando em primeiro plano e exibe a interface mais adequada para a interação com a interface do mesmo. A customização da interface busca disponibilizar os principais comandos do programa em execução tornando a interface o a mais adequada e simples possível para a representação na interface oferecida pelo smartphone.

Nos momentos em que o professor está conectado a redes com acesso ao portal educacional este poderá utilizar as funcionalidades disponibilizadas no Aulacast Teacher App para acessar recursos educacionais digitais. Os recursos, quando disponíveis para download, podem ser persistidos na estrutura que o relaciona com alguma aula. A integração com o portal educacional permite a persistência de recursos individuais ou conjuntos dos mesmos por meio da descompactação de arquivos.

A tabela 6.5 apresenta exemplos de comandos que são enviados para a interação com o dispositivo SBC. O uso destes diferentes protocolos de comunicação visa a melhor adequação à necessidades específicas das diferentes tarefas.



(a) Criar questionário e questão

(b) Criar respostas

Figura 6.6: Telas para criação de questionário, Curitiba, 2020

Ação	Comando
Executar Arquivo	<pre> "filetype": "typeid", "class": "classid", { "filehash": "filemd5", "url_destination": "remote_address", "source_url": "file_address" } </pre>
Enviar Questionário	<pre> "type": "quiztypeid", "sende": "sender_id", { "group": "group_id", "quiz": "quiz_json", } </pre>

Tabela 6.5: Comandos implementados no aplicativo Aulacast.

6.4.1 Ferramentas desenvolvidas para interação de conteúdo com os estudantes

Para o aprimoramento do uso dos recursos educacionais e promover um ambiente ubíquo é sensível ao contexto foi proposto o experimento de desenvolvimento do aplicativo Aulacast Student App. Esta ferramenta integra-se com um ecossistema educacional apoiado por computadores permitindo a interação entre estudantes com professores e ambiente. A implementação proposta foi feita utilizando um aplicativo semelhante aos programas de mensagens instantâneas.

A interface proposta visa fornecer telas e funcionalidades de aplicativos que os estudantes estão familiarizados, conforme apresentado nas figuras 6.8(a), 6.8(b) e 6.8(c) e integração por meio de filas MQTT. O objetivo do aplicativo é entregar recursos educacionais digitais propostos

pelos professores para os estudantes. A conexão com o dispositivo SBC para consumo de informações é fornecido por uma interface semelhante a disponibilizada pelo Aulacast Teacher App.

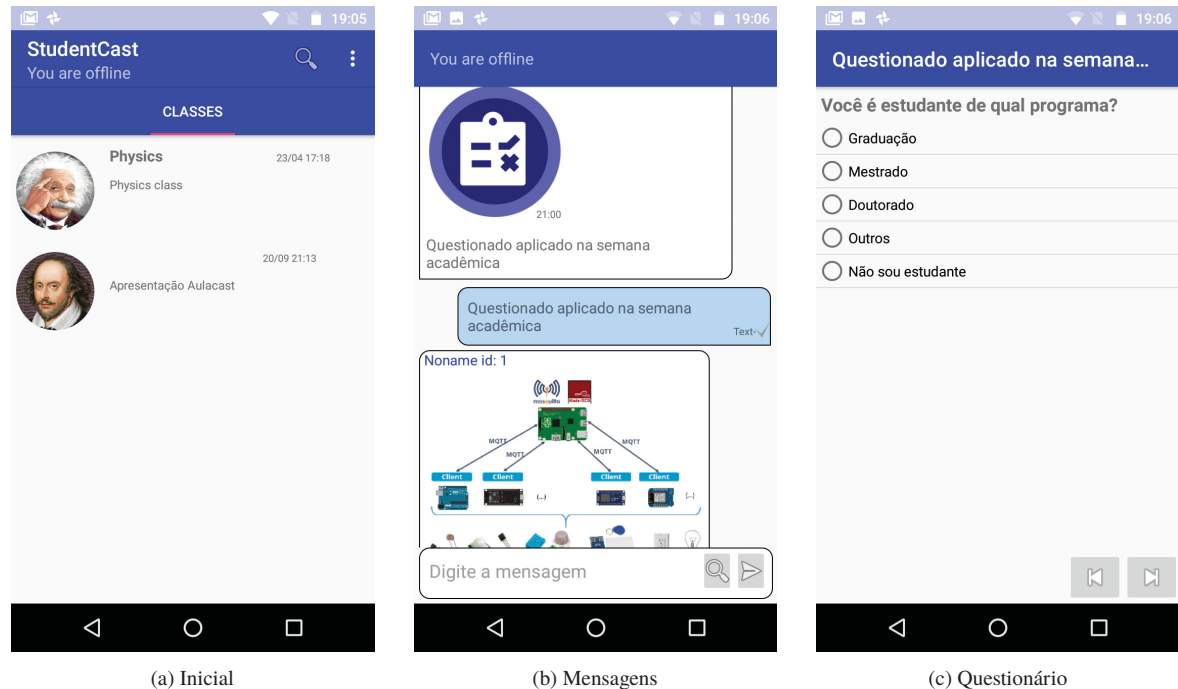


Figura 6.8: Telas do Aulacast Student App, Curitiba, 2020

Este aplicativo também tem a capacidade de apresentação de questionários e de envio de mensagens e recursos educacionais digitais para o professor. O Aulacast Student App foi desenvolvido para sistema operacional Android sob licença livre. O Aulacast Student App pode receber informações de sensores e dados relativos ao desempenho acadêmico do estudante.

O uso do app tem funcionalidades dependentes do contexto onde está sendo utilizado. Em sala de aula o dispositivo deve estar conectado na mesma rede sem fio e dispositivo SBC que o Aulacast Teacher App. A interface do aplicativo utiliza a implementação de descoberta de serviços disponíveis por meio da zero configuration da rede.

Os recursos educacionais digitais recebidos pelo aplicativo do estudante são executados no seu smartphone utilizando o aplicativo adequado para cada tipo de arquivo. Se o professor envia um arquivo de vídeo, por exemplo, ao solicitar a execução do mesmo o sistema operacional seleciona o aplicativo mais adequado para a tarefa e o executa. Desta forma o desenvolvimento de aplicações para o estudante pode focar nas necessidades de interação com o sistema operacional e atividades específicas do processo de ensino e aprendizagem.

O uso de uma interface de comunicação simples dedicada apenas a interação com o ambiente e chamadas de recursos externos adequa a ferramenta a novas necessidades emergentes. A disponibilização do código fonte do aplicativo permite que sejam feitas customizações para uso em ambiente específicos e atualizações constantes da ferramenta.

O aplicativo pode ser utilizado em qualquer contexto em que o estudante esteja inserido. Na sala de aula a interação é feita com o Aulacast SBC, conforme pode ser visto na figura 6.9 e fora do ambiente é possível que o aplicativo receba informações por meio de outras redes de dados. Mesmo em situações onde o estudante não tenha acesso a rede os recursos educacionais persistidos no dispositivo podem ser acessados.

As seguintes funcionalidades são disponibilizadas pelo Aulacast Student App:

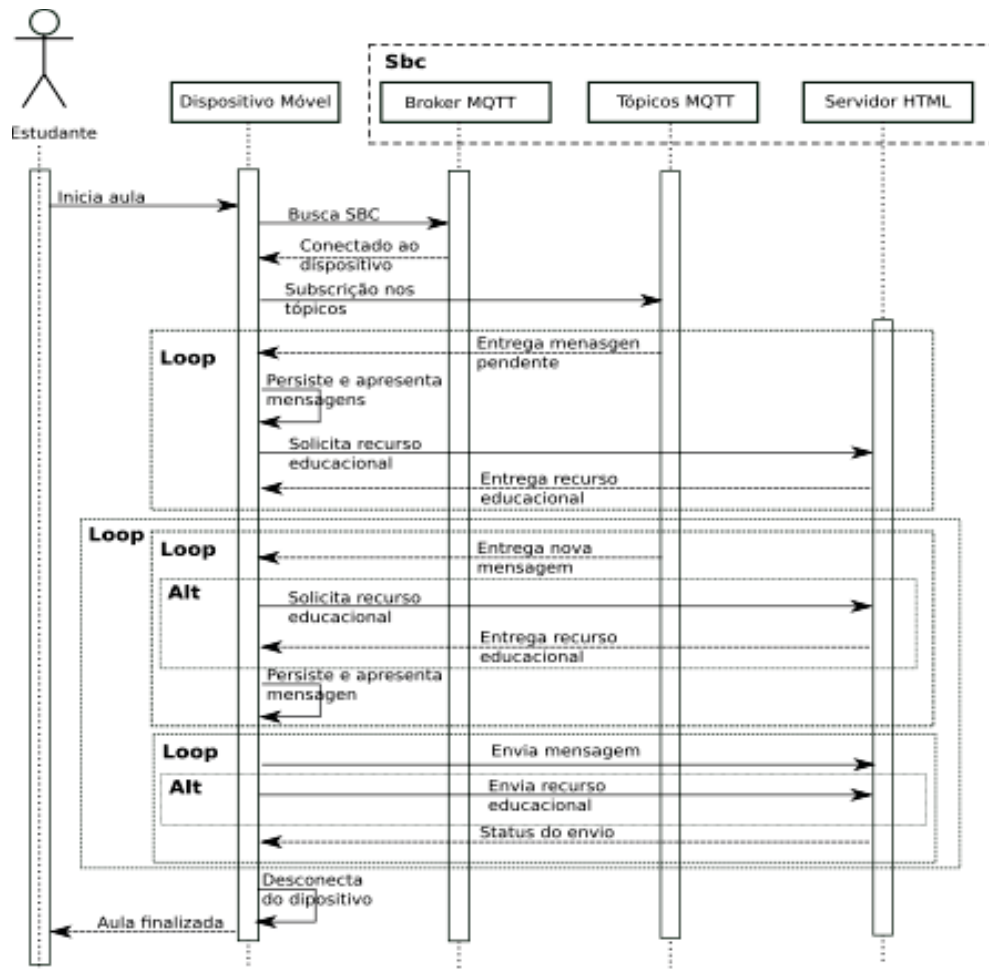


Figura 6.9: Diagrama de sequência para representar o uso integrado do smartphone e SBC pelo estudante, Curitiba, 2020

- Apresentação de conteúdo multimídia persistido localmente;
- Persistir objetos da *fog* no dispositivo;
- Geração dos relatórios de atividades para envio a *fog*;
- Seleção do componente a conectar;
- Apresentar questionários quando solicitado pelo aplicativo do professor;

A infraestrutura utilizada na implementação do protótipo apresenta a visão de uso das TICs de forma ubíqua, independente de contexto, contínua e sem falhas. O uso das ferramentas propostas pelo app oferecem ao estudante um instrumento para complementação do aprendizado em sala de aula. Dados os levantamentos de disponibilidade de smartphones aos diferentes extratos sociais é possível afirmar que estes são os principais dispositivos de hardware para o apoio à educação.

6.5 AVALIAÇÃO DO CONHECIMENTO TECNOLÓGICO PARA USO DO AULACAST TEACHER SBC

A avaliação do dispositivo foi realizada por meio da apresentação do Aulacast Teacher SBC e do Aulacast Teacher App para 27 professores em duas escolas, com duração aproximada de 20 minutos. Após a conclusão da apresentação os participantes foram convidados a preencher um questionário. Um termo de consentimento livre e esclarecido que continha de forma detalhada informações sobre a aplicação do instrumento, foi lido e assinado pelos participantes.

O perfil dos professores que responderam o questionário apresentou que 16 (59,26%) destes possuem mais de dez anos de prática profissional. A amostra representa diversidade de disciplinas ministradas, nove delas entre os professores do ensino fundamental e médio, e sete diferentes disciplinas entre os professores do ensino técnico e superior.

Também foi possível identificar que o uso de recursos multimídia são utilizados eventualmente ou com frequência para apoio as aulas em 19 (70,37%) e que 14 (51,85%) dos respondentes do questionário utilizam smartphones ou tablets como ferramenta de apoio ao ensino. Por outro lado, quase metade do número de professores entrevistados, 14 (51,85%) não utiliza seus próprio smartphones com habilidade nem explora os recursos fornecidos por esta ferramenta.

Em relação à avaliação dos produtos apresentados, aplicação Android e SBC, houve demonstração de interesse no uso dos mesmos para o apoio às atividades dos professores. A questão relativa à importância da independência de acesso à internet em dispositivos para apresentação de objetos multimídia teve quase todas as respostas que consideraram como importante ou muito importante (96,15%).

Quanto às percepções no uso do CIPU também houve quase unanimidade em afirmar que o manuseio do equipamento parece simples (96,26%). Dos entrevistados que responderam a questão, 100% acreditam que o dispositivo é muito ou altamente adequado ao uso em sala de aula. No que diz respeito à qualidade da apresentação de conteúdo nas interfaces, o resultado de 100% de concordância com muito e altamente adequado se repetiu, com maioria de concordância em altamente adequado 6.11.

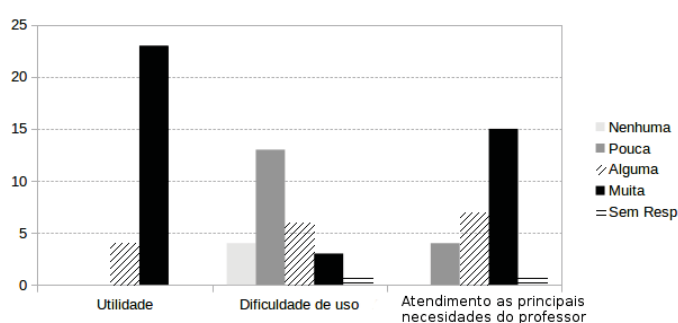


Figura 6.10: Avaliação dos professores entrevistados em relação ao aplicativo no smartphone, Curitiba, 2017

O aplicativo utilizado no smartphone demanda maior interação com o usuário, uma vez que é por meio desse que são realizadas as tarefas, tanto de gestão de atividades administrativas do docente quanto do conteúdo e interação com o CIPU. Durante a apresentação foi demonstrado como realizar cada uma das funcionalidades disponíveis no aplicativo e a conexão com a rede disponibilizada pelo CIPU. Importante destacar, que a aplicação desenvolvida não passou por processos de validação de usabilidade, pois o objetivo deste estudo é relacionado à capacidade

de realização de tarefas para a validação de uma proposta relativa às possibilidades de uso da arquitetura de hardware proposta.

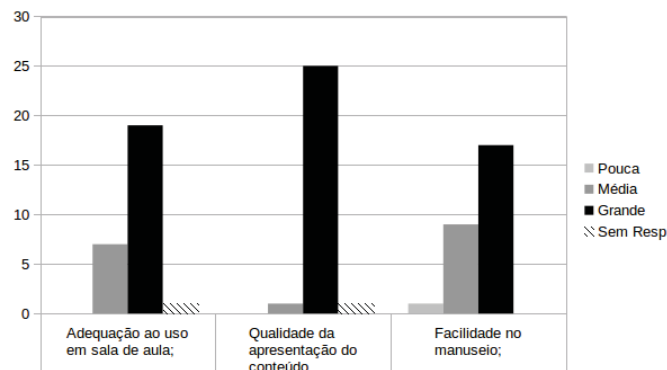


Figura 6.11: Avaliação dos professores entrevistados em relação ao uso do Aulacast Teacher SBC, Curitiba, 2020

Entre os entrevistados, 27 (81,81%) consideraram que a aplicação tem grande utilidade como ferramenta de apoio às atividades dos professores. Apenas 7 (28,57%) consideraram o uso da mesma teria muita ou alguma dificuldade de uso e 4 (14,28%) dos respondentes afirmaram que o aplicativo pouco atende às principais necessidades do professor. Dentre os professores que acreditam que usariam o modelo proposto como ferramenta de apoio a suas aulas, 94,74% optaram pela opção certamente e um (3,26%) afirmou que possivelmente usaria.

6.6 OUTROS EXPERIMENTOS REALIZADOS

6.6.1 Avaliação de desempenho dos módulos ESP8266 e ESP32

Para a avaliação do comportamento do uso de dispositivos de IoT em um ecossistema educacional apoiado por computadores foram realizados experimentos genéricos com os módulos ESP8266 e ESP32. Estes módulos foram configurados para simular informações providas por sensores para prover informações uns para os outros e postar os resultados em um broker MQTT instalado em um SBC Raspberry Pi Zero W. Este experimento permitiu verificar a adequabilidade dos módulos testados implementando conexões seguras e o comportamento da fog utilizando o mais simples SBC avaliado nesta tese.

Para estes experimentos oito módulos ESP8266 e dois módulos ESP32 receberam um programa que estabelece conexão com a rede Wi-Fi disponibilizada em um SBC Raspberry Pi Zero W e com um broker MQTT instalado neste mesmo SBC. Os módulos disponibilizam informações sobre o serviço que estes provem por meio do protocolo mDNS e em intervalos de tempo constantes consomem informações sobre os dispositivos na fog. Ao coletar as informações sobre os demais dispositivos cada módulo envia os resultados das informações para um tópico MQTT que é coletado por um laptop e persistido em arquivo.

No primeiro experimento foi avaliado o tempo dispensado entre o período que compreende o intervalo de tempo entre a energização do dispositivo e este iniciar a postagem no tópico MQTT. Foram utilizadas duas configurações distintas, com e sem o uso de certificados digitais em 10 inicializações de cada um dos dispositivos. O objetivo deste teste foi verificar a diferença de performance na validação dos certificados que resultou nos valores apresentados na tabela 6.6

Modulo	Sem	Com
ESP32	1,04	4,81
ESP8266	4,00	10,16

Tabela 6.6: Resultado do tempo de inicialização em segundos dos módulos ESP32 e ESP8266, Curitiba 2020.

O segundo experimento buscou avaliar o sucesso na identificação da estabilidade da conexão entre o módulo e o broker. Para isso a cada intervalo de cerca de 17 segundos (15 segundos de tempo entre as chamadas e 2 segundos para identificar os recursos disponíveis na fog) o módulo recuperava o nome de todos os dispositivos disponíveis na fog e enviava estas informações para um tópico na fila. Os dados recebidos informavam quantas vezes o dispositivo precisou reconectar com o broker a cada interação, quantas vezes conseguiu postar com sucesso e quantas vezes falhou na postagem, a tabela 6.7 apresenta o resultado deste experimento.

Modulo	Postagens	Falhas	Reconexões	%Falhas
ESP32	8529	167	1992	1,96
ESP8266	35311	592	9145	1,68

Tabela 6.7: Falhas de postagem e reconexões com dos módulos ESP32 e ESP8266 e o broker MQTT, Curitiba 2020.

Apesar do módulo ESP32 ser mais rápido na inicialização das conexões o tempo médio de troca de mensagens com o broker foi equivalente entre os dois modelos utilizados no estudo. Os módulos ESP8266 tiveram uma média de erros nas postagens ligeiramente superior aos dos módulos ESP32. Apesar da capacidade de processamento do ESP32 o desempenho de ambos é muito semelhante nas transações que envolvem muito tráfego de rede.

Apesar do numero significativo de falhas nas postagens o sistema utilizado foi configurado para fazer uma nova tentativa de postagem e em todos os testes a segunda tentativa teve sucesso. Dos resultados é possível inferir que os módulos ESP32 e ESP8266 são recursos que oferecem confiabilidade no envio de informações na arquitetura proposta. O SBC Raspberry Pi Zero W não apresentou nenhuma falha durante todo o experimento.

A simulação demonstrou que os módulos ESP32 e ESP8266 tem bom comportamento na arquitetura implementada para suportar a implementação de um ecossistema educacional apoiado por computadores. Mesmo utilizando a arquitetura de SBC mais simples avaliada neste estudo o dispositivo continuou atendendo as funcionalidades demandadas pelas práticas didáticas, atendendo as requisições feitas pelo Aulacast Teacher App durante a realização dos experimentos.

6.7 IMPLEMENTAÇÃO DE INFRAESTRUTURA DE CHAVES PÚBLICAS

A garantia de acesso a recursos de acordo com credenciais, assim como da veracidade das informações são requisitos para um ecossistema educacional como o proposto nesta tese [141]. O modelo de autenticação e autorização de um modelo como o proposto deve ser interoperável e adequado aos recursos computacionais que compõe a rede. As funcionidade oferecidas pelos modelo de infraestrutura de chaves públicas pode ser aplicado para garantir a segurança demanda para um ecossistema educacional.

As cadeias de confiança utilizadas na implementação utiliza um modelo de cadeias de confiança intermediária onde cada escola pode emitir certificados para pessoas e dispositivos de hardware. Os certificados emitidos devem conter extensões contendo informações sobre o papel que o detentor do certificado representará no ecossistema. Foram implementados sistemas para a emissão de certificados a serem utilizados pela infraestrutura proposta.

Para a emissão de certificados foi implementado um modelo de autorização e que utiliza a geração e entrega dos mesmos. A autoridade certificadora representada pela escola utiliza um certificado intermediário com permissão para a emissão de certificados finais. Este ponto de acesso depende de implementação de segurança para evitar fraudes.

A infraestrutura de chaves públicas básicas de um ecossistema educacional apoiado por computadores, representado pela figura 6.12, tem uma autoridade raiz de confiança que emite os certificados de autoridade de certificação intermediária para cada escola. A escola pode emitir certificados finais para os estudantes e para os dispositivos de hardware. Os certificados emitidos para os professores são certificados intermediários que permitem que estes possam emitir certificados finais para os alunos.

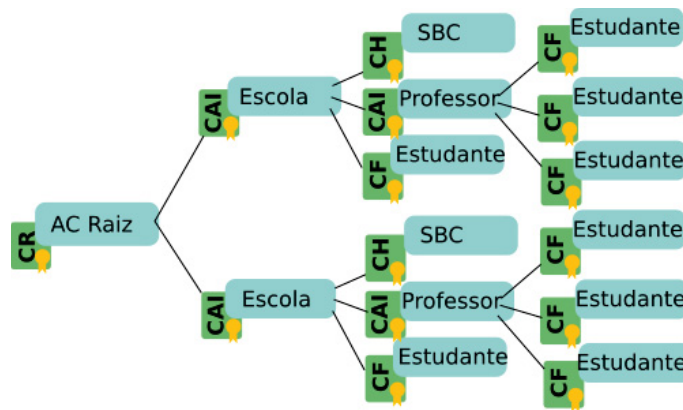


Figura 6.12: Modelo de infraestrutura de chaves para um ecossistema educacional apoiado por computadores, Curitiba, 2020

Os atributos utilizados como extensões x.509 [131] na implementação do ecossistema utilizaram dois OIDs, um para definir o papel do ator e outro para identificar o estudante. A identificação estudantil e a identificação da instituição de ensino tem OID reservado mas dadas suas características específicas para o Brasil a descrição do mesmo não é adequada para um ecossistema educacional. Assim sendo esta tese utiliza os códigos dos OIDs mas não as especificações dos mesmos.

O uso do identificador proposto para a ICP-Brasil [142] para a instituição de ensino não é necessária para o modelo implementado uma vez que o certificado do estudante deve ser emitido pela escola. O campo dedicado aos dados da escola é substituído nesta proposta de implementação por dados de matrícula do estudante. A validade dos certificados deve ser igual ao período da duração do curso em que o estudante está matriculado.

OID	Descrição	Valores
2.16.76.1.10.1	Perfil do usuário	Código do perfil
2.16.76.1.10.2	Dados das disciplinas do estudante ou professor	

Tabela 6.8: Identificadores de objetos utilizados, Curitiba 2020.

Para respeitar padronizações os certificado do estudante, do professor e dos recursos de hardware deve utilizad o nome único, distinguished name (DN) do original em inglês, formatado conforme o seguinte padrão:

- C (CountryName): Nome do país da escola

- S (StateOrProvinceName): Unidade da federação da escola
- L (Locality): Cidade da escola
- O (Organization): Nome da escola
- OU (OrganizationalUnit): Curso onde está matriculado o estudante ou sala onde o hardware está alocado ou disciplina ministrada pelo professor
- CN (CommonName): Nome completo do estudante ou professor ou endereço ip do dispositivo de hardware

O uso de certificados digitais permite a identificação e autorização de acesso aos recursos e criptografia dos dados. Também é possível utilizar um certificado para garantir o não repúdio das informações utilizando assinaturas digitais. O uso deste tipo de ferramenta pode ser aplicado para diversos usos dentro do ambiente escolar ou para acesso on line.

Para simplificar o uso da arquitetura de segurança a implementação proposta aplicou o uso de certificados digitais como requisito para o acesso aos tópicos MQTT. O plugin implementado no estudo verifica as informações contidas no certificado antes de postar ou disponibilizar alguma informação de determinado tópico. É possível realizar a implementação do ecossistema sem o uso deste recurso mas isso implica em abrir mão de diversos valores de segurança da informação.

O modelo de arquitetura implementado independe de mecanismos de validação de acesso para cada sistema. Neste modelo de implementação a inserção de um novo componente no ecossistema independe de cadastramento de informações, bastando que este novo recurso apresente suas credenciais. No entanto para fazer proveito das funcionalidades previstas as implementações devem ser desenvolvidas considerando o uso desta ferramenta de segurança.

6.8 LIMITAÇÕES

Não foi possível realizar implementações para smartphones da Apple devido à indisponibilidade de programadores e recursos de hardware para plataforma iOS. As principais características implementadas nos aplicativos para smartphones dependem de recursos específicos do sistema operacional, tais como clientes MQTT e implementações UDP, fator este que limita o uso de compiladores multiplataforma. No entanto a disponibilização do código fonte pode servir como referência para desenvolvedores que desejem produzir código para a plataforma Apple.

A escola modelo na qual foi negociada a implementação dos testes teve suas atividades com alunos encerradas antes do início dos experimentos, não havendo tempo hábil de qualificação de professores aptos a apoiar o desenvolvimento do projeto em outra escola. Tratativas com outras escolas não evoluíram ao ponto de realização de experimentos nas mesmas. Atualmente está sendo preparada infraestrutura para a implementação de experimento em uma escola rural no interior de São Paulo.

As políticas do Google para aplicativos que podem ser utilizados por crianças aliados às características do Aulacast Student dificulta a disponibilização do aplicativo na loja de aplicativos. Cada nova versão passa por processos de validação que podem demorar até uma semana para ser disponibilizada na loja. As constantes correções durante o desenvolvimento da pesquisa inviabilizaram a publicação na loja de aplicativos mas a versão definitiva gerada, após a avaliação e considerações sobre esta pesquisa pela banca, será disponibilizada.

As interfaces desenvolvidas tanto para as telas oferecidas pelo Aulacast SBC quanto os aplicativos para dispositivos móveis não passaram por avaliação de especialista em interface.

Os desenhos de telas foram produzidos para o atendimento das demandas emergentes durante o processo de implementação da solução.

Não existe nenhuma autoridade raiz preparada para a emissão dos certificados. O padrão brasileiro de chaves públicas impõe restrições às cadeias de confiança, exigindo uma raiz única para todo país. As restrições impostas pelas regras de emissão de certificados digitais e o alto custo de aquisição destes pelas autoridades do padrão ICP-Brasil são limitadores do uso de certificados digitais reconhecidos como válidos pela administração pública.

Não foi encontrado nenhum OID para classificação dos papéis representados nas escolas, como estudante, professores, etc. Para suprir esta lacuna o estudo utilizou um id arbitrário seguindo as classificações brasileiras.

Os smartphones utilizados nos testes estiveram limitados a uma pequena gama de produtos adquiridos ou doados para a realização de experimentos. Grande parte dos ajustes foram feitos por meio de pessoas que se voluntariaram a instalar os aplicativos em seus smartphones para uma avaliação superficial do funcionamento em uma gama maior de equipamentos.

6.9 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Os experimentos realizados apresentam que às tecnologias disponíveis neste início de década de 2020 proporcionam a implementação de um ecossistema educacional apoiado por computadores para a infraestrutura computacional de apoio ao ensino e aprendizagem. Os protótipos construídos oferecem soluções, disponibilizadas sob licenças livres, estão prontos para serem utilizados nas escolas com pouca esforço em desenvolvimento para correções e evoluções. As implementações representam muitas das demandas para a integração de computadores nas escolas com reduzidos investimentos financeiros.

Para explorar as possibilidades

Maiores detalhes sobre o uso do aplicativo para sistema operacional Android, assim como para o dispositivo SBC podem ser obtidos diretamente no repositório de gestão da configuração das ferramentas disponíveis em <https://gitlab.c3sl.ufpr.br/c3sl/aulacast>. Implementações de melhorias podem ser executadas por desenvolvedores com conhecimento nas ferramentas de programação e sistema operacional acessando diretamente o repositório onde estão mantidos os arquivos fonte.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresenta as considerações finais sobre a pesquisa em termos de resultados previstos e perspectivas futuras.

Nesta tese foram apresentados os conceitos e requisitos de um ecossistema educacional apoiado por computadores para promover a evolução da infraestrutura computacional de apoio ao processo de ensino e aprendizagem presencial. As tecnologias emergentes, como dispositivos móveis e IoT e padrões abertos consagrados ofereceram o suporte demandado pela ubiquidade e sensibilidade ao contexto. As ferramentas utilizadas para a implantação de um modelo de referência trazem um arcabouço tecnológico para a aplicação dos conceitos em instituições de ensino.

Um ecossistema educacional apoiado por computadores permite modificar positivamente o uso das tecnologias nas escolas com equidade. A entrega de diversos recursos em diferentes mídias utilizando recursos de *hardware* e *software* proporciona uma experiência inovadora nas capacidades de aprendizagem mesmo em ambientes com grandes restrições de infraestrutura.

Foram propostos dispositivos, práticas e programas que apoiam maior qualidade no processo educacional. Para tal, a elevação do conhecimento das ferramentas computacionais e dispositivos eletrônicos são requisitos importantes para a construção de uma sociedade capaz de promover a tecnologia como ferramenta de inserção social. Muitas abordagens são possíveis a partir da proposta deste ecossistema, o que pode desencadear novos estudos para potencializar o uso da arquitetura apresentada.

O uso de computadores de baixo custo representados pelos SBCs permitem um modelo de mobilidade tecnológica-educacional em um contexto de construção colaborativa do conhecimento com foco na formação de competências do aprendiz. A construção do ecossistema aqui proposto resultou na identificação da interação dos atores que participam do processo de ensino e aprendizagem fornecendo infraestrutura física para que o ambiente educacional ofereça recursos mais atraentes e desafiadores para uma visão inovadora do espaço educacional.

O aproveitamento da popularização de ferramentas móveis individuais agregadas a um ecossistema educacional apoiado por computadores prepara a instituição de ensino para maximizar o uso de dispositivos individuais dos atores do ensino e da aprendizagem. Os problemas de limitação de acesso a redes externas e disponibilização de infraestrutura para troca de informações no uso de smartphones em sala de aula, podem ser sanados com o modelo apresentado nesta tese. A adoção de padrões e os recursos de software e hardware propostos trazem longevidade para o uso das tecnologias atuais e preparam o ambiente para as ferramentas que devem surgir em um futuro próximo.

Apesar das limitadas oportunidades de experimentação das ferramentas nas escolas os experimentos realizados demonstraram potencial de adoção da arquitetura estudada em grande escala. A arquitetura proposta pode ser replicada a partir da documentação e ferramentas disponibilizadas no repositório de gestão da configuração disponível em <https://gitlab.c3sl.ufpr.br/c3sl/aulacast>. A disponibilização do código fonte e documentação está alinhada com os princípios do software livre.

Os testes realizados podem ser replicados em outros dispositivo de hardware mas dependem de configurações específicas que são apresentadas no repositório onde está persistida a documentação produzida para os experimentos apresentados nesta tese. Versões do sistema operacional Linux portadas para diferentes SBCs têm comportamentos diferentes e demandam

por um trabalho extra que foge ao escopo desta tese. Os sistemas desenvolvidos são totalmente compatíveis com qualquer SBC com suporte ao sistema operacional Linux.

Os conceitos de ecossistema educacional apoiado por computadores aplicados nesta tese foram apresentados a pesquisadores do National Institute of Education (NIE), do Nanyang Technological University (NTU) por meio de apresentações e palestras no ano de 2018. Durante este período foram estabelecidos contatos com professores que atuam no ensino fundamental, médio e superior em Singapura para reconhecer as tecnologias por eles aplicadas para apoiar o ensino e aprendizagem. O estágio no NTU foi realizado no período de setembro até novembro de 2018 sob a supervisão do professor Dr. Chee-Kit Looi.

Esta abordagem é focada em informática na educação, mas o possível legado permite que outras áreas do conhecimento explorem e evoluam os artefatos e ferramentas advindas deste estudo. O modelo apresentado agrega desafios e oportunidades de pesquisa em arquitetura, redes de computadores, objetos distribuídos, processos educacionais, políticas públicas entre outros. A interdisciplinariedade é um dos aspectos mais desafiadores do projeto, pois demanda atividades em equipes para a construção de conhecimento.

O conceito de ecossistema educacional apoiado por computadores preenche lacunas na literatura na definição dos objetos e das interações resultantes da crescente presença das tecnologias móveis e dispositivos de IoT. A literatura consultada não apresentava a integração no uso das TICs a partir de uma infraestrutura inclusiva, baseada em interações e adequada ao uso intenso de recursos de hardware heterogêneos definidos nesta tese.

O modelo de hardware, Aulacast Teacher SBC, implementado com tecnologias pouco estudadas como solução para uso em sala de aula é capaz de prover conectividade independentemente de infraestrutura prévia. Além de prover rede WiFi o dispositivo pode ser utilizado para promover longevidade à dispositivos depreciados tecnologicamente e substituir computadores e laptops em diversas atividades didáticas. Os recursos disponibilizados pelo Aulacast Teacher SBC permite equidade no acesso aos recursos tecnológicos mesmo em salas de aula com severas limitações de infraestrutura.

Destacam-se ainda como contribuições desta tese a apresentação de:

- um protótipo de software denominado Aulacast Teacher App que promove integração com o Aulacast Teacher SBC e permite a aplicação dos conceitos de ubiquidade e sensibilidade ao contexto às praticas didáticas do professor;
- um protótipo de software denominado Aulacast Student App que oferece um modelo de interação com o Aulacast Teacher App e como o Aulacast Teacher SBC para potencializar o uso das TICs no apoio ao processo de ensino e aprendizagem;
- um modelo de infraestrutura de chaves públicas no contexto da educação que proporciona veracidade e autenticidade das informações utilizando um modelo de confiança gerido pelas próprias instituições de ensino;
- um modelo de uso de dispositivos de IoT no contexto da educação que oferece um modelo integrado das tecnologias emergentes em um ecossistema educacional apoiado por computadores.

7.1 TRABALHOS FUTUROS

Estudos de implementação do ecossistema educacional apoiado por computadores podem ser desenvolvidos como desdobramentos desta tese. Experimentos para a avaliação da influência do uso dos artefatos apresentados na melhoria do aprendizado em diferentes disciplinas

do ensino fundamental, médio e superior apresentarão suporte para a evolução das ferramentas. A avaliação comparativa entre o desempenho de estudantes e professores utilizando ou não a ferramenta permitirá avaliar o impacto do uso das novas TICs nas escolas.

Esta tese fornece a infraestrutura para o desenvolvimento de novas tecnologias aplicadas à educação. Estudos de pensamento computacional e robótica nas escolas podem ser favorecidos pelo ambiente apresentado. O ecossistema proposto pode ser integrado com novas ferramentas de apoio para o ensino de TICs sem a necessidade de aquisição de outras infraestruturas para laboratórios, por exemplo.

A coleta de dados produzidos utilizando o ecossistema educacional apoiado por computadores utilizando a infraestrutura proposta nesta tese pode ser utilizada para estudos em diversas áreas do conhecimento. A recuperação de dados gerados por estudantes professores e sensores podem avaliar impactos ambientais na aprendizagem. Estratégias de ciência de dados aplicadas ao ensino serão subsidiados com conjuntos de dados inéditos para análises.

7.2 PUBLICAÇÕES COM RESULTADOS DESTA TESE

- Fabiano Sardenberg Kuss, Marcos A Castilho, Letícia M Peres, and Fabiano Silva. Aulacast: A single board computer platform to support teaching. In Proceedings of the 10th International Conference on Computer Supported Education - Volume 1: CSEDU,, pages 366–373. INSTICC, SciTePress, 2018.
- Fabiano Sardenberg Kuss, Marcos A. Castilho, and Chee-Kit Looi. Classroom mobile devices: Evaluation about existing applications. In Proceedings of the 11th International Conference on Computer Supported Education, CSEDU 2019, Heraklion, Crete, Greece, May 2-4, 2019, Volume 2, pages 496–504, 2019.

REFERÊNCIAS

- [1] Mary C Herring, Matthew J Koehler, and Punya Mishra. *Handbook of technological pedagogical content knowledge (TPACK) for educators*. Routledge, 2016.
- [2] Shalabh Agarwal and Asoke Nath. Pervasive computing—an application to effective teaching-learning process. *Journal of Computing*, 3(2):41–44, 2011.
- [3] IBGE PNAD. Posse de telefons móvel celular para uso pessoal, 2017.
- [4] Global Stats StatCounter. Mobile operating system market share brazil | statcounter global stats. Disponível em: <https://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile/>, 2018. Acessado em 05 de janeiro de 2020.
- [5] U.K. Egham. Gartner says global smartphone sales fell slightly in the fourth quarter of 2019. Disponível em: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2020-03-03-gartner-says-global-smartphone-sales-fell-slightly-in>, 2018. Acessado em 04 de março de 2020.
- [6] Espressif Systems. *ESP32-WROOM-32D & ESP32-WROOM-32U Datasheet*, 2019.
- [7] Espressif Systems. *ESP32-S2-WROOM & ESP32-S2-WROOM-I Datasheet*, 2020.
- [8] CGI. Tic educação. Disponível em: <https://cetic.br/pesquisa/educacao/>. [Online; acessado em 11 de janeiro de 2020].
- [9] Ewa Ziembka. The contribution of ict adoption to the sustainable information society. *Journal of Computer Information Systems*, 59(2):116–126, 2019.
- [10] Maria Ivete Basniak. Políticas de tecnologias na educação: o programa paraná digital. *Educar em Revista*, 1(60), 2016.
- [11] Julian Cristia, Pablo Ibarrarán, Santiago Cueto, Ana Santiago, and Eugenio Severín. Technology and child development: Evidence from the one laptop per child program. *American Economic Journal: Applied Economics*, 9(3):295–320, 2017.
- [12] Kathleen C Weathers, David L Strayer, and Gene E Likens. *Fundamentals of ecosystem science*. Academic Press, 2012.
- [13] Elizabeth Chang and Martin West. Digital ecosystems a next generation of the collaborative environment. In *iiWAS*, pages 3–24, 2006.
- [14] Stephen JH Yang et al. Context aware ubiquitous learning environments for peer-to-peer collaborative learning. *Educational Technology & Society*, 9(1):188–201, 2006.
- [15] Louis Coetzee and Johan Eksteen. The internet of things-promise for the future? an introduction. In *IST-Africa Conference Proceedings, 2011*, pages 1–9. IEEE, 2011.
- [16] Mike Sharples. Seamless learning despite context. In *Seamless learning in the age of mobile connectivity*, pages 41–55. Springer, 2015.

- [17] Nikola Rajovic, Alejandro Rico, Nikola Puzovic, Chris Adeniyi-Jones, and Alex Ramirez. Tibidabo: Making the case for an arm-based hpc system. *Future Generation Computer Systems*, 36:322–334, 2014.
- [18] Suzanne J Matthews, Raymond W Blaine, and Aaron F Brantly. Evaluating single board computer clusters for cyber operations. In *Cyber Conflict (CyCon US), International Conference on*, pages 1–8. IEEE, 2016.
- [19] Kevin Burden, Matthew Kearney, Sandra Schuck, and Tony Hall. Investigating the use of innovative mobile pedagogies for school-aged students: A systematic literature review. *Computers & Education*, 2019.
- [20] Dave Evans. The internet of things: How the next evolution of the internet is changing everything. *CISCO white paper*, 1(2011):1–11, 2011.
- [21] Jacques Wainer, Tom Dwyer, Rodrigo Silveira Dutra, Andre Covic, Valdo B Magalhães, Luiz Renato Ribeiro Ferreira, Valdiney Alves Pimenta, and Kleucio Claudio. Too much computer and internet use is bad for your grades, especially if you are young and poor: Results from the 2001 brazilian saeb. *Computers & Education*, 51(4):1417–1429, 2008.
- [22] Marie C Hull and Katherine Duch. One-to-one technology and student outcomes. Technical report, IZA Discussion Papers, 2017.
- [23] Dita Nugroho and Michele Lonsdale. Evaluation of olpc programs global: a literature review, 2010.
- [24] Vasileios Karagiannis, Periklis Chatzimisios, Francisco Vazquez-Gallego, and Jesus Alonso-Zarate. A survey on application layer protocols for the internet of things. *Transaction on IoT and Cloud Computing*, 3(1):11–17, 2015.
- [25] Candida G Brush et al. Exploring the concept of an entrepreneurship education ecosystem. *Innovative pathways for university entrepreneurship in the 21st century*, 24:25–39, 2014.
- [26] EP Odum. *Methods in ecosystem science*. Springer Science & Business Media, 2013.
- [27] Steward TA Pickett and Mary L Cadenasso. The ecosystem as a multidimensional concept: meaning, model, and metaphor. *Ecosystems*, 5(1):1–10, 2002.
- [28] Christian Gütl and Vanessa Chang. Ecosystem-based theoretical models for learning in environments of the 21st century. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 3(2008), 2008.
- [29] Roger D Blew. On the definition of ecosystem. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 77(3):171–173, 1996.
- [30] Soojin Park, Sungyong Park, and Young B Park. An architecture framework for orchestrating context-aware it ecosystems: A case study for quantitative evaluation. *Sensors*, 18(2):562, 2018.
- [31] Soojin Park, Lee Seungmin, and Young B Park. A reference architecture framework for orchestration of participants systems in it ecosystems. In *Advances in Computer Science and Ubiquitous Computing*, pages 883–889. Springer, 2015.

- [32] Harold Boley and Elizabeth Chang. Digital ecosystems: Principles and semantics. In *Digital EcoSystems and Technologies Conference, 2007. DEST07. Inaugural IEEE-IES*, pages 398–403. IEEE, 2007.
- [33] Michael Weyrich and Christof Ebert. Reference architectures for the internet of things. *IEEE Software*, 33(1):112–116, 2016.
- [34] Christian Reinisch, Mario J Kofler, and Wolfgang Kastner. Thinkhome: A smart home as digital ecosystem. In *Digital Ecosystems and Technologies (DEST), 2010 4th IEEE International Conference on*, pages 256–261. IEEE, 2010.
- [35] Nigel Shadbolt, Max Van Kleek, and Reuben Binns. The rise of social machines: The development of a human/digital ecosystem. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 5(2):106–111, 2016.
- [36] V. Chang and C. Guetl. E-learning ecosystem (eles) - a holistic approach for the development of more effective learning environment for small-and-medium sized enterprises (smes). In *2007 Inaugural IEEE-IES Digital EcoSystems and Technologies Conference*, pages 420–425, 2007.
- [37] Jorge Reyna. Digital teaching and learning ecosystem (dtle): a theoretical approach for online learning environments. *Changing demands, changing directions. Proceedings ascilite Hobart*, pages 1083–1088, 2011.
- [38] Ramona Markoska. Development of an open source digital educational ecosystem: Case study. *New Trends and Issues Proceedings on Humanities and Social Sciences*, 4(3):85–93, 2017.
- [39] Gonzalo León, José Manuel Leceta, and Alberto Tejero. Impact of the eit in the creation of an open educational ecosystem: Upm experience. *International Journal of Innovation Science*, 10(2):178–206, 2018.
- [40] Alicia García-Holgado and Francisco José García-Peñalvo. Validation of the learning ecosystem metamodel using transformation rules. *Future Generation Computer Systems*, 91:300–310, 2019.
- [41] Gwo-Jen Hwang, Tsai Chin-Chung, and Stephen JH Yang. Criteria, strategies and research issues of context-aware ubiquitous learning. *Journal of Educational Technology & Society*, 11(2), 2008.
- [42] Christoph Pimmer, Magdalena Mateescu, and Urs Gröbriel. Mobile and ubiquitous learning in higher education settings. a systematic review of empirical studies. *Computers in Human Behavior*, 63:490–501, 2016.
- [43] Mostafa Al-Emran, Hatem M Elsherif, and Khaled Shaalan. Investigating attitudes towards the use of mobile learning in higher education. *Computers in Human Behavior*, 56:93–102, 2016.
- [44] R Kalaivania and R Sivakumar. A survey on context-aware ubiquitous learning systems. *International Journal of Control Theory and Applications*, 10:15, 2017.

- [45] Gustavo Alberto Moreno Lopez, Jovani Alberto Jimenez Builes, and Sindey Carolina Bernal Villamil. Overview of u-learning. concepts, characteristics, uses, application scenarios and topics for research. *IEEE Latin America Transactions*, 14(12):4792–4798, 2016.
- [46] Masafumi Yamada, Miralda Cuka, Yi Liu, Tetsuya Oda, Keita Matsuo, and Leonard Barolli. Evaluation of an iot-based e-learning testbed: Performance of olsr protocol in a nlos environment and mean-shift clustering approach considering electroencephalogram data. *International Journal of Web Information Systems*, 13(1):2–13, 2017.
- [47] Gregory D Abowd, Anind K Dey, Peter J Brown, Nigel Davies, Mark Smith, and Pete Steggles. Towards a better understanding of context and context-awareness. In *International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing*, pages 304–307. Springer, 1999.
- [48] Charith Perera, Arkady Zaslavsky, Peter Christen, and Dimitrios Georgakopoulos. Context aware computing for the internet of things: A survey. *IEEE communications surveys & tutorials*, 16(1):414–454, 2014.
- [49] Abdur Forkan, Ibrahim Khalil, Ayman Ibaida, and Zahir Tari. Bdcam: Big data for context-aware monitoring-a personalized knowledge discovery framework for assisted healthcare. *IEEE transactions on cloud computing*, 2015.
- [50] Chee-Kit Looi, Peter Seow, BaoHui Zhang, Hyo-Jeong So, Wenli Chen, and Lung-Hsiang Wong. Leveraging mobile technology for sustainable seamless learning: a research agenda. *British Journal of Educational Technology*, 41(2):154–169, 2010.
- [51] Fui Chin Hiew and ESYIN Chew. Seams remain in seamless learning. *On the Horizon*, 24(2):145–152, 2016.
- [52] Lung-Hsiang Wong. A brief history of mobile seamless learning. In *Seamless learning in the age of mobile connectivity*, pages 3–40. Springer, 2015.
- [53] One Laptop per Child. One laptop per child (olpc): Mission. Disponível em: <http://www.laptop.org/en/vision/mission/index.shtml/>. [Online; acessado em 29 de dezembro de 2015].
- [54] Uttam Sharma. Essays on the economics of education in developing countries. *ProQuest LLC*, 2012.
- [55] Jesús Valverde Berrocoso. El software libre y las buenas prácticas educativas con tic. *Comunicación y Pedagogía*, 222(48):55, 2008.
- [56] Angel Vaca. Extremadura and the revolution of free software. *How Open is the Future?*, page 167, 2005.
- [57] María José Sosa Díaz. Recorrido de las políticas educativas tic en extremadura, españa [travel of educational ict policies in extremadura, spain], 2016.
- [58] Ávila de Casio Gonçalves. Computadores na sala de aula: o projeto uca—um computador por aluno—na escola classe 102 do recanto das emas distrito federal. *Revista Brasileira de Aprendizagem Aberta e a Distância*, 11, 2018.

- [59] Marcos Tadeu Simões Piacentini, Fabrício Ziviani, Juliana Maria Magalhães Christino, and Josmária Lima Ribeiro de Oliveira. Repercussões do projeto uca na qualidade de vida do trabalho em escolas públicas de rolim de moura–rondônia. *Revista Administração em Diálogo-RAD*, 16(3), 2014.
- [60] Alexandre Direne, Wilson da Silva, Fabiano Silva, Leticia Peres, Alexander Kutzke, Diego Marczal, Gílian Barros, Leda Moura, and Gustavo Bazzo. Aprofundamento da mobilidade tecnológico-educacional por meio de jogos intelectivos como facilitadores da comunicação professor-aluno em redes virtuais de ensino. In *Anais do Workshop de Desafios da Computação Aplicada à Educação*, pages 20–29, 2012.
- [61] Marcos Castilho, Marcos Sunyé, Daniel Weingaertner, Luis de Bona, Fabiano Silva, Carlos Carvalho, Laura García, André Guedes, and Alexandre Direne. Laboratórios de informática com software livre para atender políticas estaduais do ensino escolar. In *Anais do Workshop de Informática na Escola*, volume 1, 2007.
- [62] Marcos Castilho, Marcos Sunyé, Daniel Weingaertner, Luis de Bona, Fabiano Silva, Carlos Carvalho, Laura García, André Guedes, and Alexandre Direne. Laboratórios de informática com software livre para atender políticas estaduais do ensino escolar. In Paulo Rosa, editor, *Anais do XXVII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação: WIE2007 - Workshop sobre Informática na Escola*, pages 208–215, Rio de Janeiro, Brasil, Julho 2007. SBC.
- [63] Larissa Siqueira Camargo, Janira Siqueira Camargo, and Leila Pessoa Da Costa. Uso da tv pendrive ou tv multimídia na educação básica. *SIED: EnPED-Simpósio Internacional de Educação a Distância e Encontro de Pesquisadores em Educação a Distância*, 2016.
- [64] Natália Hidalgo dos Reis Pacheco, João Henrique Berssanette, Rafaela Gonçalves Oliveira, Guataçara Santos Junior, and Amanda Drzewinski Miranda. Contribuições dos recursos didáticos do portal dia a dia educação. In *XIV Conferencia Interamericana de Educación Matemática*, 2015.
- [65] Rosângela Menta MELLO. Tv multimídia na sala de aula. In *IX Congresso Nacional de Educação EDUCERE & III Encontro Sul Brasileiro de Psicopedagogia*, 2009.
- [66] M Castilho, M Sunyé, D Weingaertner, L Bona, Fabiano Silva, Alexandre Direne, L Garcia, Andre Guedes, and Carlos Carvalho. Open source for knowledge and learning management: strategies beyond tools. *Idea Group Inc*, pages 343–368, 2007.
- [67] Kiev Gama, Lionel Touseau, and Didier Donsez. Combining heterogeneous service technologies for building an internet of things middleware. *Computer Communications*, 35(4):405–417, 2012.
- [68] Eleonora Borgia. The internet of things vision: Key features, applications and open issues. *Computer Communications*, 54:1–31, 2014.
- [69] Azamat Zhamanov, Zhulduz Sakhiyeva, Rassim Suliyev, and Zhazira Kaldykulova. Iot smart campus review and implementation of iot applications into education process of university. In *2017 13th International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO)*, pages 1–4. IEEE, 2017.

- [70] Jack Marquez, Jhorman Villanueva, Zeida Solarte, and Alexander Garcia. Iot in education: Integration of objects with virtual academic communities. In *WorldCIST (1)*, pages 201–212, 2016.
- [71] Edson L Padoin, Daniel AG de Oliveira, Pedro Velho, and Philippe Olivier Alexandre Navaux. Evaluating performance and energy on arm-based clusters for high performance computing. In *Parallel Processing Workshops (ICPPW), 2012 41st International Conference on*, pages 165–172. IEEE, 2012.
- [72] Shahla Gul, Muhammad Asif, Shahbaz Ahmad, Muhammad Yasir, Muhammad Majid, and M Sheraz Arshad Malik. A survey on role of internet of things in education. *IJCSNS*, 17(5):159, 2017.
- [73] Maryam Bagheri and Siavosh H Movahed. The effect of the internet of things (iot) on education business model. In *2016 12th International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems (SITIS)*, pages 435–441. IEEE, 2016.
- [74] Theodore H Martland. Convertible classroom furniture, January 14 1964. US Patent 3,117,534.
- [75] Ronald C Rescigno. Practical implementation of educational technology. the gte/gtel smart-classroom. the hueneme school district experience, 1988.
- [76] Jeffrey L Heier, Van Cooley, and Raymond Reitz. American school 2000: Westfield’s technology initiative. *THE Journal (Technological Horizons In Education)*, 20(10):83, 1993.
- [77] Vladimir L Uskov, Jeffrey P Bakken, and Akshay Pandey. The ontology of next generation smart classrooms. In *Smart Education and Smart e-Learning*, pages 3–14. Springer, 2015.
- [78] Nenad Gligorić, Ana Uzelac, and Srdjan Krco. Smart classroom: real-time feedback on lecture quality. In *2012 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops*, pages 391–394. IEEE, 2012.
- [79] Stephen S Yau, Sandeep KS Gupta, Fariaz Karim, Sheikh I Ahamed, Yu Wang, and Bin Wang. Smart classroom: Enhancing collaborative learning using pervasive computing technology. In *Proceedings of 2nd ASEE International Colloquium on Engineering Education (ASEE2003)*, pages 1–10, 2003.
- [80] MR Martinez-Torres, SL Toral, and M Olmedilla. A quantitative study of the evolution of open source software communities. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering*, 9(6):1374–1379, 2015.
- [81] Armbian. linux for arm development boards. Disponível em: <https://www.armbian.com/download/>. [Online; acessado em 22 de janeiro de 2018].
- [82] N. S. Yamanoor and S. Yamanoor. High quality, low cost education with the raspberry pi. In *2017 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*, pages 1–5, 2017.
- [83] M Suresh, U Muthukumar, and Jacob Chandapillai. A novel smart water-meter based on iot and smartphone app for city distribution management. In *IEEE Region 10 Symposium (TENSYP)*, 2017, pages 1–5. IEEE, 2017.

- [84] Syarif Hidayat and Syahril Farid Firmanda. Scheduler and voice recognition on home automation control system. In *Information and Communication Technology (ICoICT), 2015 3rd International Conference on*, pages 150–155. IEEE, 2015.
- [85] Dewi Rasni Putri, Doan Perdana, and Yoseph Gustommy Bisono. Design and performance analysis of smart roof clothesline system based on microcontroller by smartphone application. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Telekomunikasi, Kendali, Komputer, Elektrik, dan Elektronika*, 2(1), 2018.
- [86] Fabiano Sardenberg Kuss, Marcos A Castilho, Letícia M Peres, and Fabiano Silva. Aulacast: A single board computer platform to support teaching. In *Proceedings of the 10th International Conference on Computer Supported Education - Volume 1: CSEDU*, pages 366–373. INSTICC, SciTePress, 2018.
- [87] AJ Lewis, M Campbell, and P Stavroulakis. Performance evaluation of a cheap, open source, digital environmental monitor based on the raspberry pi. *Measurement*, 87:228–235, 2016.
- [88] Raspberry Foundation. About us. Disponível em: <https://www.raspberrypi.org/about/>, 2015. Acessado em 02 de novembro de 2015.
- [89] Murat Ali, Jozef Hubertus Alfonsus Vlaskamp, Nof Nasser Eddin, Ben Falconer, and Colin Oram. Technical development and socioeconomic implications of the raspberry pi as a learning tool in developing countries. In *Computer Science and Electronic Engineering Conference (CEEC), 2013 5th*, pages 103–108. IEEE, 2013.
- [90] Alexander Kalashnikov, Hongwei Zhang, Jo Jennings, and Misko-Marcus Abramriuk. Remote laboratory: using internet-of-things (iot) for e-learning, 2017.
- [91] Bernard R McCoy. Digital distractions in the classroom phase ii: Student classroom use of digital devices for non-class related purposes, 2016.
- [92] McKinley Green. Smartphones, distraction narratives, and flexible pedagogies: Students’ mobile technology practices in networked writing classrooms. *Computers and Composition*, 52:91 – 106, 2019.
- [93] Mike Sharples and Russell Beale. A technical review of mobile computational devices. *Journal of Computer Assisted Learning*, 19(3):392–395, 2003.
- [94] Josie Taylor, Mike Sharples, Claire O’Malley, Giasemi Vavoula, and Jenny Waycott. Towards a task model for mobile learning: a dialectical approach. *International Journal of Learning Technology*, 2(2-3):138–158, 2006.
- [95] Marcelo Milrad, Lung-Hsiang Wong, Mike Sharples, Gwo-Jen Hwang, Chee-Kit Looi, and Hiroaki Ogata. Seamless learning: An international perspective on next-generation technology-enhanced learning, 2013.
- [96] Olga Viberg and Åke Grönlund. Cross-cultural analysis of users’ attitudes toward the use of mobile devices in second and foreign language learning in higher education: A case from sweden and china. *Computers & Education*, 69:169–180, 2013.

- [97] Matthew H Dabney, Brian C Dean, and Tom Rogers. No sensor left behind: enriching computing education with mobile devices. In *Proceeding of the 44th ACM technical symposium on Computer science education*, pages 627–632. ACM, 2013.
- [98] Yao-Ting Sung, Kuo-En Chang, and Tzu-Chien Liu. The effects of integrating mobile devices with teaching and learning on students’ learning performance: A meta-analysis and research synthesis. *Computers & Education*, 94:252–275, 2016.
- [99] Albert Forn, Jasmine Castro, Mar Camacho, Fengchun Miao, and Anett Domiter. mschools: Transforming the education landscape in catalonia (spain) through a systemic and inclusive mobile learning programme0. *Case study by the UNESCO-Fazheng project on best practices in mobile learning*. Paris: UNESCO. Retrieved December, 24, 2018.
- [100] Fabiano Sardenberg Kuss, Marcos A. Castilho, and Chee-Kit Looi. Classroom mobile devices: Evaluation about existing applications. In *Proceedings of the 11th International Conference on Computer Supported Education, CSEDU 2019, Heraklion, Crete, Greece, May 2-4, 2019, Volume 2*, pages 496–504, 2019.
- [101] Matthew Koehler and Punya Mishra. What is technological pedagogical content knowledge (tpack)? *Contemporary issues in technology and teacher education*, 9(1):60–70, 2009.
- [102] Evrim Baran, Sedef Canbazoglu Bilici, Aylin Albayrak Sari, and Jo Tondeur. Investigating the impact of teacher education strategies on preservice teachers’ tpack. *British Journal of Educational Technology*, 50(1):357–370, 2019.
- [103] Joyce Hwee Ling Koh and Ching Sing Chai. Seven design frames that teachers use when considering technological pedagogical content knowledge (tpack). *Computers & Education*, 102:244–257, 2016.
- [104] Tzu-Chiang Lin, Chin-Chung Tsai, Ching Sing Chai, and Min-Hsien Lee. Identifying science teachers’ perceptions of technological pedagogical and content knowledge (tpack). *Journal of Science Education and Technology*, 22(3):325–336, 2013.
- [105] Saadiah Yahya, Erny Arniza Ahmad, and Kamarularifin Abd Jalil. The definition and characteristics of ubiquitous learning: A discussion. *International Journal of Education and Development using Information and Communication Technology*, 6(1):1, 2010.
- [106] Shanhe Yi, Cheng Li, and Qun Li. A survey of fog computing: concepts, applications and issues. In *Proceedings of the 2015 workshop on mobile big data*, pages 37–42. ACM, 2015.
- [107] Arwa Alrawais, Abdulrahman Alhothaily, Chunqiang Hu, and Xiuzhen Cheng. Fog computing for the internet of things: Security and privacy issues. *IEEE Internet Computing*, 21(2):34–42, 2017.
- [108] Mung Chiang and Tao Zhang. Fog and iot: An overview of research opportunities. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(6):854–864, 2016.
- [109] Soumya Kanti Datta, Christian Bonnet, and Jerome Haerri. Fog computing architecture to enable consumer centric internet of things services. In *2015 International Symposium on Consumer Electronics (ISCE)*, pages 1–2. IEEE, 2015.

- [110] Flavio Bonomi, Rodolfo Milito, Jiang Zhu, and Sateesh Addepalli. Fog computing and its role in the internet of things. In *Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing*, pages 13–16. ACM, 2012.
- [111] IB IBGE. Pesquisa nacional por amostra de domicílios (pnad). *Rio de Janeiro: IBGE*, 2015.
- [112] Hanan Aldowah, Shafiq Ul Rehman, Samar Ghazal, and Irfan Naufal Umar. *Internet of Things in higher education: a study on future learning*. IOP Publishing, 2017.
- [113] Anna Tarabasz et al. The internet of things—digital revolution in offline market. opportunity or threat? *Handel Wewnętrzny*, 363(4):325–337, 2016.
- [114] Abdul Fuad Abdul Rahman, Maslina Daud, and Madihah Zulfa Mohamad. Securing sensor to cloud ecosystem using internet of things (iot) security framework. In *Proceedings of the International Conference on Internet of things and Cloud Computing*, page 79. ACM, 2016.
- [115] James Manyika, Richard Dobbs, Michael Chui, Jacques Bughin, and Jonathan Woetzel Peter Bisson. The internet of things: Mapping the value beyond the hype. In *Global Trends and Future Scenarios*. McKinsey Global Institute, McKinsey and Company, 2015.
- [116] Hiroaki Ogata and Yoneo Yano. Context-aware support for computer-supported ubiquitous learning. In *Wireless and Mobile Technologies in Education, 2004. Proceedings. The 2nd IEEE International Workshop on*, pages 27–34. IEEE, 2004.
- [117] Ravi Kishore Kodali and Kopulwar Shishir Mahesh. A low cost implementation of mqtt using esp8266. In *2016 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)*, pages 404–408. IEEE, 2016.
- [118] Alexander Maier, Andrew Sharp, and Yuriy Vagapov. Comparative analysis and practical implementation of the esp32 microcontroller module for the internet of things. In *2017 Internet Technologies and Applications (ITA)*, pages 143–148. IEEE, 2017.
- [119] Shinho Lee, Hyeonwoo Kim, Dong-kweon Hong, and Hongtaek Ju. Correlation analysis of mqtt loss and delay according to qos level. In *The International Conference on Information Networking 2013 (ICOIN)*, pages 714–717. IEEE, 2013.
- [120] Roger A Light et al. Mosquitto: server and client implementation of the mqtt protocol. *J. Open Source Software*, 2(13):265, 2017.
- [121] Tetsuya Yokotani and Yuya Sasaki. Comparison with http and mqtt on required network resources for iot. In *2016 international conference on control, electronics, renewable energy and communications (ICCEREC)*, pages 1–6. IEEE, 2016.
- [122] Nitin Naik. Choice of effective messaging protocols for iot systems: Mqtt, coap, amqp and http. In *2017 IEEE international systems engineering symposium (ISSE)*, pages 1–7. IEEE, 2017.
- [123] Dinesh Thangavel, Xiaoping Ma, Alvin Valera, Hwee-Xian Tan, and Colin Keng-Yan Tan. Performance evaluation of mqtt and coap via a common middleware. In *2014 IEEE ninth international conference on intelligent sensors, sensor networks and information processing (ISSNIP)*, pages 1–6. IEEE, 2014.

- [124] Farhan Siddiqui, Sherali Zeadally, Thabet Kacem, and Scott Fowler. Zero configuration networking: Implementation, performance, and security. *Computers & electrical engineering*, 38(5):1129–1145, 2012.
- [125] Jean-Guillaume Dumas, Pascal Lafourcade, Francis Melemedjian, Jean-Baptiste Orfila, and Pascal Thoniel. Localpki: An interoperable and iot friendly pki. In *International Conference on E-Business and Telecommunications*, pages 224–252. Springer, 2017.
- [126] Carlisle Adams and Steve Lloyd. *Understanding PKI: concepts, standards, and deployment considerations*. Addison-Wesley Professional, 2003.
- [127] Vesselin Tzvetkov. Disaster coverable pki model based on majority trust principle. In *International Conference on Information Technology: Coding and Computing, 2004. Proceedings. ITCC 2004.*, volume 2, pages 118–119. IEEE, 2004.
- [128] Dindayal Mahto, Danish Ali Khan, and Dilip Kumar Yadav. Security analysis of elliptic curve cryptography and rsa. In *Proceedings of the world congress on engineering*, volume 1, pages 419–422, 2016.
- [129] Filip Forsby, Martin Furuheid, Panos Papadimitratos, and Shahid Raza. Lightweight x. 509 digital certificates for the internet of things. In *Interoperability, Safety and Security in IoT*, pages 123–133. Springer, 2017.
- [130] Hua Jiang, Gang Zhang, and Jinpo Fan. *Structure Analysis and Generation of X. 509 Digital Certificate Based on National Secret*. IOP Publishing, 2019.
- [131] David W Chadwick and Alexander Otenko. The permis x. 509 role based privilege management infrastructure. In *Proceedings of the seventh ACM symposium on Access control models and technologies*, pages 135–140. ACM, 2002.
- [132] Alexander Yakubov, Wazen Shbair, Anders Wallbom, David Sanda, et al. A blockchain-based pki management framework. In *The First IEEE/IFIP International Workshop on Managing and Managed by Blockchain (Man2Block) colocated with IEEE/IFIP NOMS 2018, Tapei, Tawain 23-27 April 2018*, 2018.
- [133] Zhi-Kai Zhang, Michael Cheng Yi Cho, and Shiuhyng Shieh. Emerging security threats and countermeasures in iot. In *Proceedings of the 10th ACM symposium on information, computer and communications security*, pages 1–6. ACM, 2015.
- [134] Antoine Delignat-Lavaud, Cédric Fournet, Markulf Kohlweiss, and Bryan Parno. Cinderella: Turning shabby x. 509 certificates into elegant anonymous credentials with the magic of verifiable computation. In *2016 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP)*, pages 235–254. IEEE, 2016.
- [135] Adam Mihai Gergely and Bogdan Crainicu. The concept of a distributed repository for validating x. 509 attribute certificates in a privilege management infrastructure. *Procedia Technology*, 22:926–930, 2016.
- [136] Luis M Vaquero and Luis Roderio-Merino. Finding your way in the fog: Towards a comprehensive definition of fog computing. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 44(5):27–32, 2014.

- [137] Shanhe Yi, Zijiang Hao, Zhengrui Qin, and Qun Li. Fog computing: Platform and applications. In *2015 Third IEEE Workshop on Hot Topics in Web Systems and Technologies (HotWeb)*, pages 73–78. IEEE, 2015.
- [138] Mike Sharples, Josie Taylor, and Giasemi Vavoula. Towards a theory of mobile learning. In *Proceedings of mLearn*, volume 1, pages 1–9, 2005.
- [139] Nikolaos Alexopoulos, Jörg Daubert, Max Mühlhäuser, and Sheikh Mahbub Habib. Beyond the hype: On using blockchains in trust management for authentication. In *2017 IEEE Trustcom/BigDataSE/ICSS*, pages 546–553. IEEE, 2017.
- [140] Rosefran Adriano Gonçalves Cibotto and Rosa Maria Moraes Anunciato Oliveira. Tpack-conhecimento tecnológico e pedagógico do conteúdo: uma revisão teórica. *Imagens da Educação*, 7(2):11, 2017.
- [141] Xiaoyang Zhu and Youakim Badr. Identity management systems for the internet of things: A survey towards blockchain solutions. *Sensors*, 18(12):4215, 2018.
- [142] Portaria 02 de 5 de maio de 2016, 2016.